

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER GEODEZIJA V
INŽENIRSTVU**

Kandidat:

IVAN LANGELLA

**DOLOČITEV KOORDINAT STEBROV IN VIŠINE
REPERJA V UČILNICI "ZIMSKE VAJE" UL FGG**

Diplomska naloga št.: **369/GI**

**DETERMINATION OF PILLARS COORDINATES AND
BENCHMARK ALTITUDE IN THE CLASSROOM
"ZIMSKE VAJE" AT UL FGG**

Graduation thesis No.: **369/GI**

Mentor:

izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Predsednik komisije:

viš. pred. mag. Samo Drobne

Somentor:

asist. dr. Aleš Marjetič

Ljubljana, 25. 4. 2012

ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Ivan Langella izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: „Določitev koordinat stebrov in višine reperja v učilnici 'Zimske vaje' na UL FGG“.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 4.4.2012

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528: 674.71 (043.2)
Avtor: Ivan Langella
Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič
Somentor: asist. dr. Aleš Marjetič
Naslov: Določitev koordinat stebrov in višine reperja v učilnici 'Zimske vaje' na UL FGG
Obseg in oprema: 50 str., 19 tab., 12 sl., 7 pr.
Ključne besede: ravninska mreža, višinska mreža, izravnava mreže, redukcija dolžin.
Izvleček:

Namen moje diplomske naloge je določitev novih koordinat in natančnosti stebrov, ki se nahajajo na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v učilnici imenovani 'Zimske vaje'. Iskane koordinate stebrov sem vključil v geodetsko mrežo, ki je bila vzpostavljena v okolici fakultete. V mreži sem meril kote in dolžine, ki so bile kasneje reducirane za vse potrebne popravke. Mrežo sem na koncu izravnal, da sem dobil izravnane koordinate stebrov v učilnici 'Zimske vaje' in natančnosti novih koordinat točk. V nalogi opisujem še vrste mrež in metode merjenja, opisan je tudi inštrumentarij, uporabljen pri delu.

V drugem delu diplomske naloge je opis meritve višine reperja R_{FGG} . Reper predstavlja medeninasti čep, postavljen na stebru v učilnici 'Zimske vaje'. Sledi še analiza poteka niveliranja in kratek opis sistemov višin v geodeziji.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALIST INFORMATION

UDC: 528: 674.71 (043.2)
Author: Ivan Langella
Supervisor: izr. prof. dr.Tomaž Ambrožič
Cosupervision: asist. dr . Aleš Marjetič
Title: Determination of pillars coordinates and benchmark altitude in the classroom
'Zimske vaje' at UL FGG
Notes: 50 p., 19 tab., 12fig., 7 attch.
Key words: Surveying network, altitudine network, adjustment network, reduction of the
lenght

Abstract

The purpose of my thesis is to determine the new coordinates and the accuracy of the pillars, which are located at the Faculty of civil and geodetic engineering in the classroom called 'Zimske vaje'. The coordinates of the pillars that I was searching for, were included in the geodetic network, which was created around the faculty. In the network itself I was measuring angles and lengths, which were later reduced for all the necessary corrections. Finally, I adjusted the network to get the adjustments of the new coordinates in the classroom 'Zimske vaje' and accuracy of the new coordinate of the points. The thesis continues with examination of types of networks and methods of measurement and description of the instruments used in the work.

In the second part of this thesis is a description of the measurement of the RFgg benchmark height. This benchmark represents the brass plug located on the pillars in the classroom 'Zimske vaje'. Then it follows an analysis of how the levelling is conducted and a brief description of the system heights in geodesy.

*Zahvaljujem se vsem,
ki so mi na katerikoli način
pomagali pri izdelavi moje diplomske naloge.
Iskrena hvala tudi vsem tistim,
ki so mi omogočili študij v Ljubljani.*

ISKRENA HVALA!

KAZALO VSEBINE

Errata	III
Izjava o avtorstvu	V
Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček	VII
Bibliographic – documentalistic information and abstract	VIII
Zahvala	IX
1 UVOD	1
2 RAVNINSKA GEODETSKA MREŽA IN NJENO OKOLJE	3
2.1 Vrste horizontalnih mrež	4
2.1.1 Triangulacijske mreže	4
2.1.2 Trilateracijske mreže	4
2.1.3 Kombinirane mreže	4
2.2 Vzpostavitev geodetske mreže	5
2.2.1 Projektiranje geodetske mreže	5
2.2.2 Rekognosciranje geodetske mreže	6
2.2.3 Metode merjenj horizontalnih kotov, poševnih dolžin, zenitnih razdalj	6
2.3 Okolje geodetske mreže	7
2.3.1 Zrak	7
2.3.2 Tlak	8
2.3.3 Termodinamika atmosfere	9
3 VIŠINSKA GEODETSKA MREŽA	11
3.1 Uvod	11
3.2 Sistemi višin	11
3.2.1 Normalne ortometrične višine	13
3.3 Višinska mreža	13
3.3.1 Projektiranje nivelmanske mreže	14
3.3.2 Metode niveliranja	15
3.4 Pogreški pri niveliranju	15

4 DOLOČITEV POLOŽAJNIH KOORDINAT TOČK 1, 2, 3 IN 4	17
4.1 Opis instrumentarija in pribora	18
4.1.1 Leica FlexLine TS06	18
4.2 Stabilizacija točk 1, 2, 3 in 4	19
4.3 Priprava podatkov za izravnavo	20
4.3.1 Izračun sredin merjenih horizontalnih kotov	20
4.3.2 Redukcija dolžin	20
4.3.2.1 Referenčne vrednosti	21
4.3.2.2 Meteorološki popravki	22
4.3.2.3 Geometrični popravki	29
4.3.2.4 Projekcijski popravki	32
4.3.3 Izračun višinskih razlik s trigonometričnim višinomerstvom	35
4.3.3.1 Izračun sredin merjenih zenitnih razdalj	35
4.3.3.2 Izračun višinskih razlik	36
4.4 Izravnavo položajne mreže	37
4.5 Analiza natančnosti rezultatov	38
5 DOLOČITEV VIŠINE REPERJA RF GG	41
5.1 Opis instrumentarija in pribora	42
5.2 Priprava podatkov	43
5.2.1 Izračun višinskih razlik med reperji	43
5.2.2 Izračun višine reperja RFgg	46
5.3 Primerjava dobljenih rezultatov	46
6 ZAKLJUČEK	49
VIRI	51
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 4.1: Podatki instrumenta <i>Leica FlexLine TS06</i> (URL 7, 2011).	19
Preglednica 4.2: Merjene količine na terenu.	21
Preglednica 4.3: Zenitna razdalja in horizontalni kot.	21
Preglednica 4.4: Koordinate stojišč v Gauß-Krügerjevem koordinatnem sistemu.	21
Preglednica 4.5: Vrednosti konstant za izračun N_G pri različnih avtorjih.	25
Preglednica 4.6: Vrednosti konstant n_D na stojiščih Fgg4 in 1.	26
Preglednica 4.7: Rezultati drugega popravka hitrost.	28
Preglednica 4.8: Rezultati zaradi ukrivljenosti merskega žarka.	30
Preglednica 4.9: Rezultati redukcije do S_p .	31
Preglednica 4.10: Rezultati redukcije 'kamen – kamen'.	31
Preglednica 4.11: Rezultati horizontiranja dolžine.	32
Preglednica 4.12: Rezultati redukcije na ničelni nivo.	33
Preglednica 4.13: Rezultati prehoda na ničelni nivo.	34
Preglednica 4.14: Rezultati izravnave.	39
Preglednica 5.1: Odčitki in izračun višinske razlike med MN 101 in R 101.	44
Preglednica 5.2: Rezultati odčitkov na merilcu na reperju MN101 z upoštevanom konstanto merilca.	44
Preglednica 5.3: Odčitki in višinske razlike nivelmanske zanke.	45
Preglednica 5.4: Višinske razlike med posameznimi reperji.	46
Preglednica 5.5: Primerjava rezultatov.	47

KAZALO SLIK

Slika 1.1: Učilnica 'Zimske vaje'.	2
Slika 2.1: Ravninska mreža (URL 1, 2012).	3
Slika 2.2: Nasičenost zraka ob določeni temperaturi (URL 5, 2011).	10
Slika 3.1: Nevzporednost nivojskih ploskev Zemlje (Kuhar, 2000).	12
Slika 3.2: Primer niveliranja iz sredine (URL 6, 2012).	16
Slika 4.1: Ravninska mreža (URL 1, 2011).	17
Slika 4.2: Meteo station HM30.	18
Slika 4.3: Prikaz stebrov 4 levo in 3 desno s pritrjenimi prizmami. Vmes je steber R_{Fgg} .	19
Slika 4.4: Izračun dolžine na nivoju točk ob merjeni zenitni razdalji (Kuhar, 2000).	30
Slika 4.5: Ravninska mreža z orientacijami in elipsami natančnosti.	40
Slika 5.1: Potek nivelmanskega vlaka in položaj reperjev (URL 1, 2012).	41
Slika 5.2: Precizni nivelir Carl Zeiss Koni NI007 in Leica DNA 03.	42

1 UVOD

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo ima v kletnih prostorih učilnico, ki je namenjena spoznavanju geodetskih instrumentov. V tej učilnici potekajo prve praktične vaje s teodoliti, nivelirji in tahimetri. Učilnico imenujemo 'Zimske vaje'. Po zidovih so nameščene slike različnih signalov, v sredini učilnice pa je postavljenih pet betonskih stebrov. S temi pripomočki lahko simuliramo dejansko merjenje v notranjosti stavbe. Na štirih stebrih imamo možnost prisilnega centriranja instrumenta, ker je na vsakem stebru nameščeno podnožje. Peti steber je nižji od drugih štirih in ima medeninast čep, da nanj postavimo nivelmansko lato.

Namen diplomske naloge je določitev koordinat štirih stebrov s pripadajočimi natančnosti in določitev nadmorske višine medeninastega čepa na petem stebru. Naloga je zato razdeljena na dva dela. Posledično smo ravninsko mrežo merili z elektronskim tahimetrom *Leica FlexLine TS06*, višinsko mrežo pa z elektronskim nivelirjem *Leica DNA03*.

V geodeziji je določanje koordinat relativno dolg postopek. Tehnologija nam je prišla v pomoč z določevanjem koordinat točk s pomočjo GPS. Vemo, da je za to potreben odprt prostor. V zaprtih prostorih je nemogoče merjenje z GPS. V tem primeru pride v poštev klasična metoda. Iskane količine morajo biti del lokalne mreže, ki jih z meritvami povežemo z danimi količinami. Lokalne mreže razvijemo na manjših območjih in so lahko samostojne mreže. V mrežah merimo tako kote kot dolžine. Pri merjenju dolžin vplivajo meteorološki popravki. Zato moramo merske rezultate, ki jih poda instrument, skrbno reducirati. Kot zaključek, se vse kote in dolžine v lokalni mikromreži izravna, obdela in podatke analizira. Podatek o natančnosti je lahko danes važen podatek pri določevanju cen geodetskih storitev. V nalogi so vsi ti postopki skrbno opisani in prikazani na primeru.

Višino stebra, ki ima na vrhu postavljen medeninast čep, smo izmerili z nivelmanom. Nivelir je instrument za merjenje višinskih razlik. Reperje povezujemo v nivelmanske mreže, da lahko prenesemo dano višino iz danega reperja na iskani steber. V nalogi smo razvili nivelmanski vlak iz danega reperja MN/101 na Tržaški cesti do stebra v učilnici 'Zimske vaje'. Uporabili smo metodo niveliranja iz sredine, kar je najbolj uporabljena in natančna metoda pri niveliranju. V nivelmanski vlak smo vključili še dva reperja, ki sta nam služila za kontrolo. Ta dva kontrolna reperja bomo primerjali z rezultati druge diplomske naloge (Mlinar, 2005).



Slika 1.1: Učilnica 'Zimske vaje'.

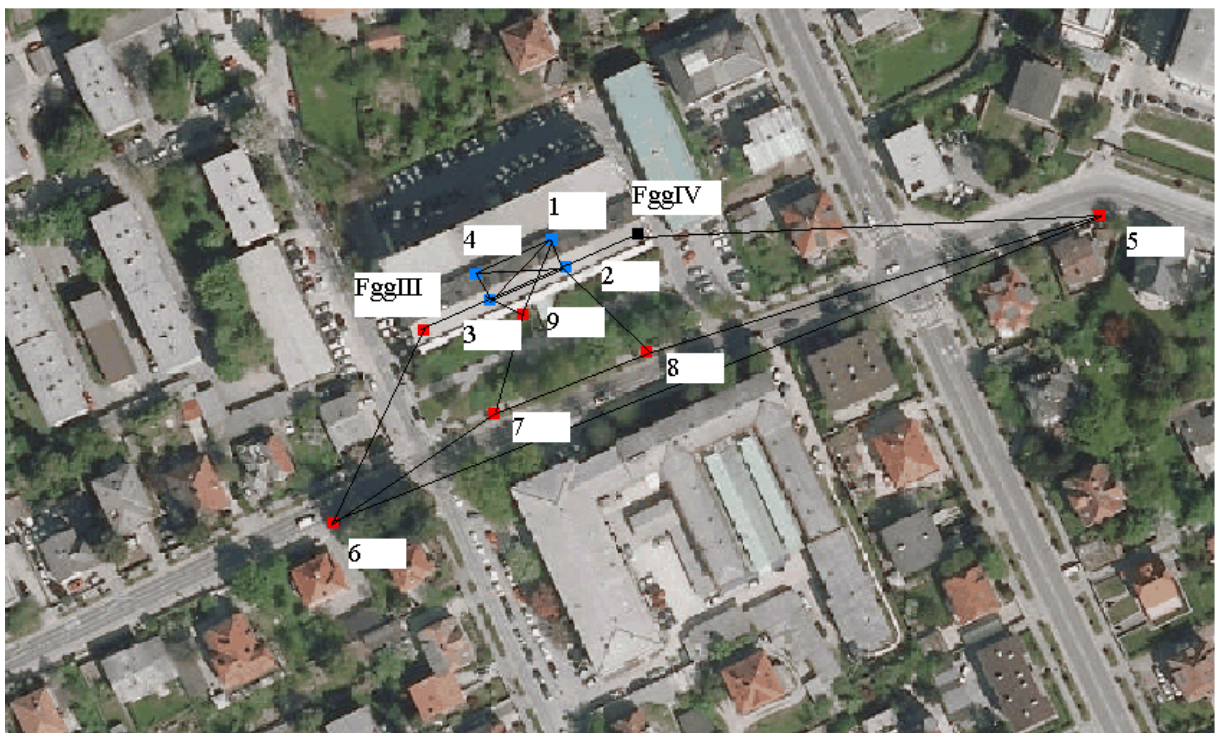
2 RAVNINSKA GEODETSKA MREŽA IN NJENO OKOLJE

Geodetska mreža predstavlja množico geodetskih točk. Geodetske točke so točke na fizični površini Zemlje in so označene s stalno stabilizacijo ali pa z določenimi koordinatami v določenem koordinatnem sistemu. Geodetska mreža služi kot podlaga za opravljanje geodetske izmere. Vsaka točka v geodetski mreži je lahko osnova za nadaljnje meritve. Razvita je po celotnem ozemlju države in omogoča, da lahko kjerkoli določimo položaj kateregakoli objekta na zemeljskem površju ali pod njim (Breščak, 2006).

Geodetske mreže so lahko globalne, državne ali lokalne. Služijo nam za:

- določitev oblike in velikosti Zemlje,
- za določitev položaja objektov v 3D,
- za inženirske meritve pri gradnji objektov,
- določitev premik točk.

Geodetske mreže pokrivajo predvideno območje s čim bolj enakostraničnimi trikotniki (Rejec, 2003).



Slika 2.1: Ravninska mreža (URL 1, 2012).

Merimo horizontalne smeri, zenitne razdalje in dolžine med točkami. Osnovni namen je določevanje novih točk in njihove natančnosti. Točkam torej določimo koordinati y in x ter višino H , s pripadajočimi natančnostmi σ_y , σ_x in σ_H .

2.1 Vrste horizontalnih mrež

Geodetske mreže so triangulacijske mreže, trilateracijske in kombinirane mreže.

2.1.1 Triangulacijske mreže

Triangulacijo definiramo kot metodo določitve trigonometričnih točk, kjer obliko in velikost triangulacijske mreže določimo na osnovi samo kotnih meritev in ene dolžine. Glavni cilj triangulacijske metode, ki tvori skupino geodetskih del, je določitev koordinat novih točk v projekcijski ravnini. Poleg vseh kotov v trikotniku potrebujemo pri računanju novih koordinat še eno točko z danimi koordinatami, dolžino in eno stranico določeno z azimutom. Stranico z določenim azimutom in dolžino imenujemo triangulacijska osnovnica (Rejec, 2003).

2.1.2 Trilateracijske mreže

O trilateraciji govorimo, kadar so trigonometrični mreži merjene samo dolžine med točkami. S pojavom prvih elektronskih razdaljemerov je postalo merjenje dolžin hitrejše, ekonomičnejše in učinkovitejše (Kogoj, 2005). S temi instrumenti lahko natančno merimo tudi več kilometrov dolge dolžine v mreži. Trikotnike torej določimo z izmerjenimi dolžinami, izravnavo mreže pa lahko izvedemo kot pri ostalih mrežah.

2.1.3 Kombinirane mreže

V praksi se največkrat uporablja kombinirane mreže. V kombiniranih mrežah merimo tako dolžine kot kote. Prednost teh mrež je, da lahko ena vrsta meritev odpravlja slabosti enih in drugih.

2.2 Vzpostavitev geodetske mreže

Vsaka karta, splošna geografska ali tematska, in tudi vsak geodetski načrt, ki ga opravi geodet, ima kot osnovo geodetsko mrežo. Vzpostavitev geodetske mreže obsega načrtovanje, terensko izmero, izravnavo opazovanj in analizo kakovosti izračunanih rezultatov (Mozetič, Stopar, 2008).

Načrtovanje mreže je ključnega pomena. Skrbno moramo postaviti točke tako, da se med seboj vidijo. Točke stabiliziramo ali označimo. Sledi terensko delo, kjer lahko zbiramo med različnimi metodami merjenja horizontalnih kotov kot so girusna metoda, Schreiberjeva metoda, metoda zapiranja horizonta, metoda dvojnih kombinacij, francoska metoda in sektorska ali švicarska metoda. Med naštetimi je največ v uporabi girusna metoda. Najzahtevnejše je nato pisarniško delo, kjer moramo pripraviti podatke za izravnavo in s končnimi podatki dobro analizirati kakovost na podlagi cene ali potreb opravljenega dela.

2.2.1 Projektiranje geodetske mreže

Glede na velikost projekta, lahko poteka projektiranje geodetske mreže na dva načina. Pri geodetskem načrtu manjših dimenzij ni potrebno pripraviti pravega projekta, če bo naša mreža vsebovala le nekaj točk.

Zahtevnejše pa je projektiranje večjih mrež. Spoštovati je potrebno določene kriterije za boljšo izvedbo projekta. Zahtevano je znanje poznavanje teoretičnih osnov geodetskih mrež, poznavanje lastnosti in natančnosti uporabljenega instrumentarija in metod meritev. Važna je tudi organizacija in vodenje projekta ter priprava finančnega vrednotenja geodetskih del. Naj torej poudarimo, da je cilj geodeta zagotoviti optimalno obliko geodetske mreže s čim manjšimi finančnimi sredstvi.

Pri uvrščanju nove trigonometrične točke je dobro upoštevati naslednja pravila (Rejec, 2003):

- Točke, iz katerih določamo nove točke mreže, naj bodo po možnosti enakomerno razporejene po horizontu.
- Vizure naj bodo približno enako dolge.
- Koti med posameznimi stranicami naj bodo približno enaki.
- Točko trigonometrične mreže nižjega reda določamo z merjenjem kotov in dolžin iz najbližnjih okoliških točk trigonometrične mreže višjega reda ali istega reda. Na primer točko tretjega dopolnilnega reda določamo iz točk mreže tretjega glavnega reda in višjega reda, le izjemoma točk tretjega dopolnilnega reda.

Pravilo 'iz velikega v malo' upoštevamo tako v velikih projektih kot pri manjših geodetskih načrtih. Važno je, da je točka kateregakoli reda določena na osnovi istega ali višjega reda. Ko večje projekte projektiramo s pomočjo topografske karte, moramo skrbno paziti na vidnost med točkami glede na konfiguracijo terena.

Med projektiranjem pazimo na čimbolj idealno okolico mreže. Namen je imeti čimbolj enakostranične trikotnike ali pa se skušamo držati razmerja 1 proti 3. Neidealno mrežo dopolnjujemo s kombinacijami kotnih in dolžinskih merjenj. Pri manjših mrežah naj prevladujejo kotna merjenja, pri večjih pa dolžinska opazovanja.

Glede na zahtevano natančnost določamo katere dolžine/koti bomo uporabili med izravnavo. Po potrebi dodajamo točke in določene smeri ali dolžine izpustimo. Opravka imamo z optimizacijo mreže. Znanost sprva ni našla odgovora na vprašanje, kako vse optimizacijske probleme rešiti z enim algoritmom, zato si je pomagala z več analitičnimi postopki, ki so reševali posamezne probleme optimizacije (Mozetič, Stopar, 2008).

2.2.2 Rekognosciranje terena

Po končanem projektiranju v pisarni si ogledamo teren, kjer bomo izvršili projekt. Na terenu opravimo vse postopke, ki pridejo v poštev preden začnemo z meritvami. Ugotavljamo torej fizično izvedbo projekta. Ta postopek se imenuje rekognosciranje. Obstoječe trigonometrične točke najdemo s pomočjo topografij danih točk. Te točke moramo po potrebi signalizirati.

Pri postopku rekognosciranja uporabimo ustrezne topografske karte in daljnogled. Določamo tudi položaje novih točk. Te lahko odstopajo od projekta, če na terenu opazimo, da je to potrebno. Če točko trajno stabiliziramo, poiščemo lokacije, ki so varne pred uničenjem. Te lokacije naj bodo tudi čimbolj vidne iz bližnje okolice. Izogibamo se obdelovalnih površin, robov cestišča itd.

2.2.3 Metode merjenj horizontalnih kotov

V praksi pa so najbolj uporabljeni girusna in Schreiberjeva metoda (Rejec, 2003).

2.3 Okolje geodetske mreže

Geodetsko mrežo lahko postavimo kjerkoli. Večkrat je okolje geodetske mreže v odprtih prostorih, lahko pa je tudi v stavbah oz. zaprtih prostorih. Mrežo, ki smo jo projektirali ima nove točke v prostorih Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. To pomeni, da se nahaja v odprtih kot tudi v zaprtih prostorih.

Atmosfera je plinasti ovoj, ki obdaja Zemljo. Atmosfero lahko imenujemo tudi ozračje ali zrak, ki je okrog Zemlje in je zmes plinov. Plinski ovoj je sestavljen z 78% dušika, 21% kisika, vodne pare, žlahtnih in drugih plinov ter primesi imenovanih tudi aerosoli (Dolinar, Knop, 1994). Tudi atmosfera ima določeno maso. Skupaj s težnostnim poljem Zemlje ustvarja silo tlaka. Zračni tlak je na Zemlji prisoten nad katerokoli površino. Povzroči ga teža zraka. Teža zraka je enaka zmnožku mase m in težnega pospeška g :

$$F_g = mg \quad (2.1)$$

Nastanejo lahko območja visokega tlaka, ki jih imenujemo anticikloni in območja nizkega tlaka, imenovana cikloni. Pri ciklonih imamo torej manj zračne mase, pri anticiklonih pa obratno. Po mednarodnem dogovoru je enota za tlak newton na kvadratni meter ali pascal. Zračni tlak merimo z različnimi instrumenti. Za meteorološke namene v geodeziji se zračni tlak meri z živosrebrnimi barometri, aneroidi in z hipsometri. Pomembno vlogo igra tudi višinska razlika. Z večanjem višine se tudi eksponentno zmanjšuje število molekul zraka. To lahko prikažemo z izrazom (Mlinar, 2005):

$$\log_{10} P \approx 5 - \frac{h}{15500} \quad (2.2)$$

kjer je P tlak [Pa] in h višina [m]. Poleg manjšega števila molekul zraka se z višino manjša tudi tlak.

Atmosferske pogoje moramo torej upoštevati pri merjenju dolžin v mreži. Spremembe tlaka, temperature in relativne vlažnosti vplivajo na valovanje, ki ga oddaja instrument, s katerim merimo.

2.3.1 Zrak

Termin zrak izhaja iz latinščine aer in iz grščine $\alpha\eta\rho$ (URL 2, 2011). Spodnji del ozračja imenujemo troposfera. Ta je najnižji del Zemljinega ozračja in se neposredno dotika Zemeljskega površja. Plast

troposfere je zelo raznolika. Povprečna višina troposfere znaša na ekvatorju 17 km, razlikuje se od tropskih gozdov (20 km), na južni in severni polobli pa ni debelejša od 7 km. V primerjavi z velikostjo Zemlje, katere polmer znaša okrog 6400 km, je torej ta plast zelo tanka (Mlinar, 2005). Z večanjem višine se temperatura v troposferi znižuje, povprečno za 6 °C/km. Zrak, ki se nahaja v troposferi, ima povprečno globalno temperaturo na morski gladini 15°C.

Troposfera ima zelo aktivno dogajanje, saj se tukaj pojavljajo vremenski pojavi. Iz tega zato tudi ime tropos, ki v grščini pomeni preobrat ali mešanje. Sledi tropopavza. Temperatura se stabilizira na – 60°C in preide v izometrijo. Nad njo je stratosfera in sega do višine 50 km. Temperatura zopet narašča in v stratopavzi doseže 0°C na višini 45 in 54 km. V mezosferi temperatura zopet pada, v termosferi pa že spet narase do okrog 700°C oz. 1000°C. Najbolj zunanja plast ozračja, ki nas tudi loči od medplanetarnega prostora, je eksosfera (URL 3, 2011).

Temperatura je lastnost, ki prenaša toplotno energijo iz enega sistema v drugega. Temperatura ni merilo za količino toplotne energije, je pa z njo povezana. Je skalarna fizikalna veličina in je po sebi intenzivna lastnost nekega sistema. Ni odvisna od velikosti ali količine snovi. V zraku ni neke stalne porazdelitve temperature, zato se moramo zavedati, da temperatura zraka z višino ni konstantna (Mlinar, 2005). Temperaturo merimo s termometri. Tudi teh je več vrst, za različna temperaturna območja in različna področja uporabe. Najuporabnejši so kapljevinski termometri, ki delujejo na osnovi temperaturnega raztezanja snovi. Primer kapljevinskih termometrov je najbolj popularni živosrebrni termometer, dobimo pa tudi alkoholne termometre. Z napredkom tehnologije pa so se prikazali tudi digitalni termometri.

2.3.2 Tlak

Zračni tlak je posledica teže zraka. Splošna definicija o tlaku pravi, da je tlak (oznaka p) razmerje med velikostjo ploskovno porazdeljene sile F in površino ploske S , na katero ta sila deluje.

$$p = \frac{F}{S} \quad (2.3)$$

Poznamo več vrst tlaka. Atmosferski tlak p_a je posledica pritiska zračne mase na Zemeljsko površino in znaša v povprečju 1 bar. Spreminja se z nadmorsko višino in ga merimo z barometrom.

2.3.3 Termodinamika atmosfere

Pri merjenju meteoroloških pogojev, ki smo jih kasneje upoštevali pri redukciji dolžin (poglavje 4.3.2) smo merili temperaturo, tlak in relativno vlažnost zraka. V postopku redukcij dolžin smo podatke o temperaturi in tlaka direktno uporabili. Podatek o relativni vlažnosti (prikazan v %) smo preračunali v delni tlak vodne pare e .

Toplejši zrak v atmosferi zadržuje večje količine vode v primerjavi z mrzlim zrakom. To lahko prikažemo s krivuljo nasičenosti zraka in jo lahko prikažemo s kompleksnim izračunom. Clausius – Clapeyron sta ugotovila, da se količina vodne pare v atmosferi poveča za približno 8% z višanjem temperature (URL 4, 2011). To ugotovitev sta prikazala z enačbo (2.4):

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{L_v(T)e_s}{R_v T^2} \quad (2.4)$$

kjer je:

e_s	Nasičeni tlak vodne pare [hPa]
T	Temperatura [°C]
R_v	Konstanta vodne pare
L_v	Specifična latentna toplota izparevanja

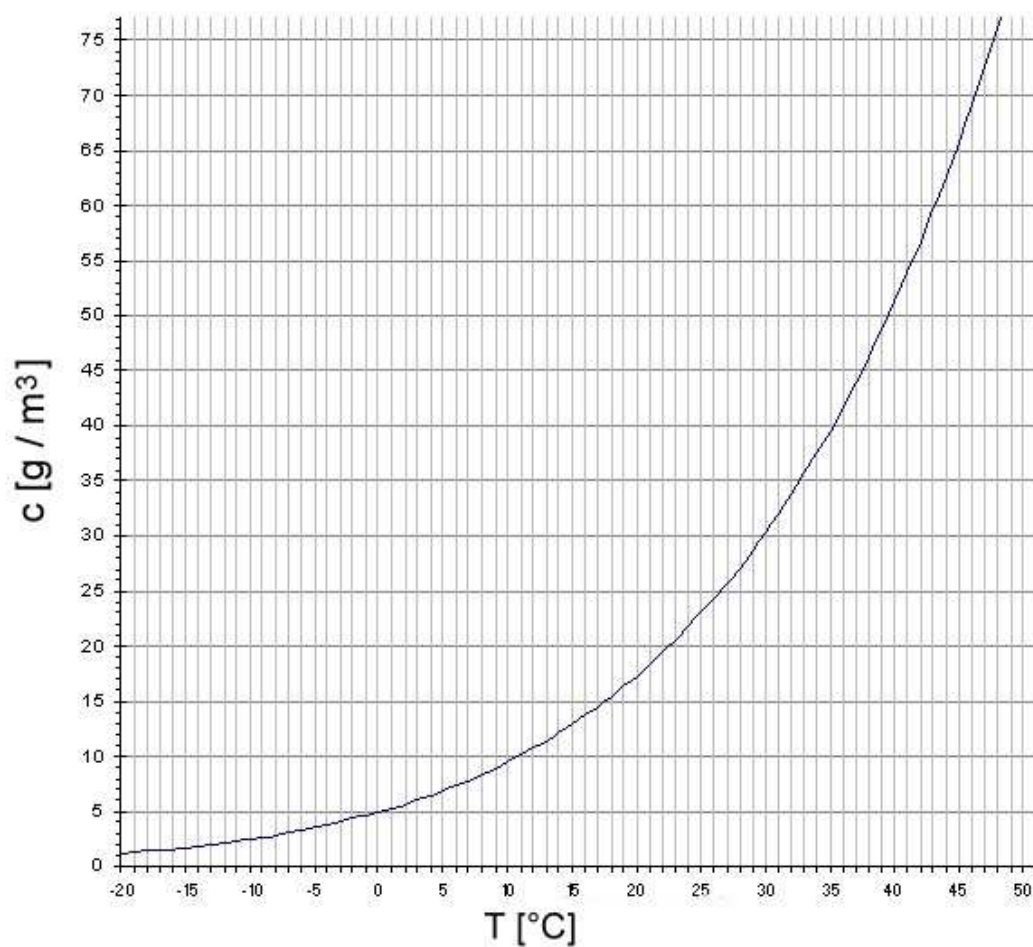
Ta ni direktno odvisna od drugih vplivih, kot so gostota in tlak. Ta dokaz lahko prikažemo z August – Roche – Magnusovo enačbo, pri čemer lahko relativno vlažnost spremenimo v delni tlak vodne pare (URL 4, 2011):

$$e_s(T) = 6.1094^{\left(\frac{17.625 \cdot T}{T+243.04}\right)} \times \frac{\eta}{100} \quad (2.5)$$

kjer je:

T	Temperatura [°C],
e	Delni tlak vodne pare[hPa],
η	Relativna vlažnost [%],

Iz spodnjega grafa (slika 2.2) razberemo nasičenost vodne pare v zraku. Krivulja nam predstavi maksimalno količino, ki jo lahko zrak obdrži pri določeni temperaturi.



Slika 2.2: Nasičenost zraka ob določeni temperaturi (URL 5, 2011).

3 VIŠINSKA GEODETSKA MREŽA

3.1 Uvod

Nadmorska višina se v vsakdanjem življenju večkrat pojavlja. Z razliko od ravninskih koordinat y in x , je višina večkrat prikazana v prostoru v katerem živimo. Kot primer navedimo gorski svet: vsa imena gora, hribov, prelazov imajo zraven imen zapisano še nadmorsko višino v metrih. Lahko trdimo, da je za gorski turizem podatek o nadmorski višini zelo pomemben.

Lego točke v tridimenzionalnem prostoru določimo s tremi koordinatami. Koordinate so med seboj neodvisne, lahko jih določamo na več načinov. Ravninske koordinate ločimo od višinske po temu, kako je njihov položaj določen. Položaj y in x je definiran geometrično, H pa fizikalno. Višinska razlika, sorazmerna razliki potencialov, je neposredno povezana s težnostnim poljem Zemlje (Mlinar, 2005). Ni pa nujno, da višino določamo samo fizikalno.

Višino neke točke lahko določamo s trigonometričnim višinomerstvom ali z geometričnim višinomerstvom oz. nivelmanom (v nadaljevanju nivelman). Bistvena razlika med načini določevanja višin je natančnost. Trigonometrično višinomerstvo uporabljamo na nedostopnih in težkih terenih. Z nivelmanom dosegamo velike natančnosti višinskih razlik, postopek je zamudnejši. Nivelman je kot merski postopek enostaven, teorija nivelmana je raziskana do podrobnosti.

Nivelman je skupina geodetskih del, katerih cilj je določitev višinskih razlik med izbranimi reperji. Nivelman razumemo lahko kot način določitve višinske razlike ΔH ali pa kot vrsta višinske mreže. Navezujemo se na trajno stabilizirane višinske točke imenovane reperji.

3.2 Sistemi višin

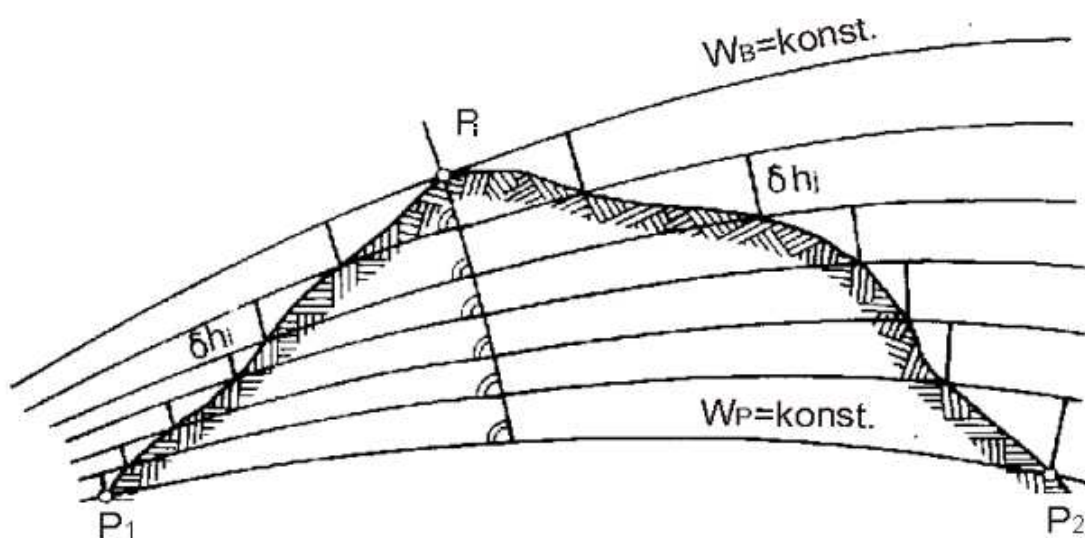
Sistemi višin so v vsaki izmeri lahko stvar dogovora. Pri njihovem izboru moramo upoštevati zahteve različnih uporabnikov, zahteve znanosti in posameznih strok. Danes je v Sloveniji veljaven višinski sistem s tako imenovanimi normalnimi ortometričnimi višinami (Mlinar, 2005).

Neoporečen višinski sistem naj bi teoretično izpolnjeval sledeče pogoje (Kuhar, 2000):

- višine točk nedvoumno definirane in določljive neodvisno od poti niveliranja,
- višine točk v metrih, za višine naj obstaja geometrična razlaga,
- uvedba čim manj hipotez o gostoti mas, višine bi naj bile določene na osnovi merjenj na površju Zemlje,

- popravki merjenih višinskih razlik naj bi bili čim manjši; ne upoštevamo jih pri nivelmanskih mrežah nižjih redov,
- enostavna povezava z elipsoidnimi višinami h ,
- dobro je, če obstaja fizikalna razlaga za izhodiščno (referenčno) ploskev,
- popravki višinskih razlik med zaključnima točkama nivelmanske linije nižjega reda naj bi bili čim bližje linearni funkciji s tem bi lahko uporabljali začetno in končno točko nivelmanske linije,
- preračun obstoječih višin – normalnih ortometričnih – v novi sistem naj bi bil enostaven in popravki naj bi bili čim manjši.

Pogojev je veliko in nekateri so protislovni. Višinski sistem moramo torej določiti na osnovi določenih kompromisov.



Slika 3.1: Nevzporednost nivojskih ploskev Zemlje (Kuhar, 2000).

Pojavi se lahko problem določitve točke P_i na sliki (3.1). To je problem zaradi nevzporednosti nivojskih ploskev in lahko vpliva na rezultat geometričnega nivelmana. Če zanemarimo razliko med dejanskim in normalnim težnostnim poljem, lahko vpliv nevzporednosti nivojskih ploskev zapišemo približno enačbo:

$$\Delta h \approx -0,0053 \cdot h_m \cdot \Delta \phi \cdot \sin 2\phi_m \quad , \quad (3.1)$$

kjer so:

h_m srednja višina nivelmanske linije,

$\Delta\phi$ razlika geografske širine med začetno in končno točko linije,

ϕ_m srednja geografska širina.

Numerična konstanta $-0,0053$ predstavlja težnostno sploščenost nivojskega elipsoida GRS80 (Mlinar, 2005).

Poleg normalnih ortometričnih višin poznamo še:

- geopotencialne kote,
- dinamične višine,
- elipsoidne višine,
- ortometrične višine in
- normalne višine.

3.2.1 Normalne ortometrične višine

Ortometrične višine so se določale na osnovi normalnega težnostnega pospeška v odvisnosti od geografske širine točke in so se nanašale na ničelno nivojsko ploskev. Tako določene višine se imenujejo sferoidne ortometrične ali normalne ortometrične višine. Normalna ortometrična višina predstavlja razmerje med geopotencialno koto in povprečnim normalnim težnostnim pospeškom (Mlinar, 2005):

$$H_i^{NO} = \frac{C_i}{\gamma_i} \quad (3.2)$$

Te višine so v uporabi v Sloveniji. Niveliranim višinskim razlike prištejemo normalni ortometrični popravek.

$$NOP_{ij} = \sum_{k=i}^j \frac{\gamma_k - \gamma_0^\varphi}{\gamma_0^\varphi} dh_k + \frac{\overline{\gamma_i} - \gamma_0^\varphi}{\gamma_0^\varphi} H_i - \frac{\overline{\gamma_j} - \gamma_0^\varphi}{\gamma_0^\varphi} H_j \quad (3.3)$$

3.3 Višinska mreža

Člen 4, drugi odstavek iz *Pravilnika o vsebini geodetskih podlag za pripravo izvedbenih aktov* (uradni list SRS, št. 17-820/1985 dne 17.5.1985; podaljšano uradni list RS, št. 110-5386/2002) poudarja, da:

"Mrežo višinskih točk sestavljajo temeljne višinske točke (poimenovanih reperji) 1. do 4. reda in mestna nivelmanska mreža 1. in 2. reda. Če na obravnavanem območju ni možna neposredna povezava na obstoječo nivelmansko mrežo, se razvije dopolnilna nivelmanska mreža 5. reda oziroma mestna nivelmanska mreža 3. reda "

Iz pravilnika torej ugotavljamo, da je višinska mreža zelo pomembna za katerokoli geodetsko delo. Višinska mreža je kot neka osnovna podlaga za druga geodetska dela. Kakovost geodetskih in prostorskih podatkov je odvisna od natančnosti določitve nadmorskih višin točk. Zelo je v uporabi nivelman.

Nivelmanska mreža je osnovna višinska mreža. Nivelman nam služi kot geometrična osnova višinske izmere in zakoličbe. Višinsko mrežo tvorijo reperji, ki so povezani med seboj z merjenimi višinskimi razlikami z metodo geometričnega nivelmana.

Višinske mreže razdelimo glede na obseg in namen. Te so državne in lokalne nivelmanske mreže. Prve so tiste, ki pokrivajo ozemlje celotne države. Lokalne pa uporabljamo na manjših območjih. Največkrat jo uporabimo v mestih, zato jo imenujemo mestna nivelmanska mreža. Lahko je vklopljena v državno višinsko mrežo, ni pa nujno. Poleg državnih in lokalnih nivelmanskih mrež poznamo še inženirske nivelmanske mreže.

Značilnosti višinskih mrež:

- Višine izbranih trigonometričnih točk določamo z navezavo na reperje.
- S pomočjo nivelmana določamo obliko geoida, kar potrebujemo za predračun položajne mreže
- Absolutne višine točk so določene v enotnem koordinatnem sistemu, to je državni višinski koordinatni sistem.
- Predpisan je način izmere in natančnost.
- Definirano je izhodišče državnega višinskega koordinatnega sistema (normalni reper).
- V mestih so večje potrebe po višinskih točkah.
- Reperji državne nivelmanske mreže so lahko reperji mestne nivelmanske mreže.

3.3.1 Projektiranje nivelmanske mreže

V tem poglavju bomo našli nekaj pravil, ki so pomembne za projektiranje.

Nivelmanske mreže projektiramo podobno kot ravninske mreže in sicer iz velikega v malo. Mreže nižjih redov so vezane na mrežo istega ali višjega reda. Na določenih razdaljah, ki jih skrbno določajo pravilniki, se morajo nivelmanski poligoni stabilizirati. Fundamentalni reperji se zavarujejo. Višinski poligoni državnih nivelmanskih mrež potekajo po prometnicah, kot je železnica in po cestah. Gostota točk nivelmanske mreže naj bo po državi razporejena enakomerno.

3.3.2 Metode niveliranja

Metod niveliranja imamo več. Najbolj je v uporabi niveliranje iz sredine, ker se eliminira pogrešek glavnega pogoja nivelirja. V primeru, da niveliranje iz sredine ni možno lahko uporabimo niveliranje iz krajišča.

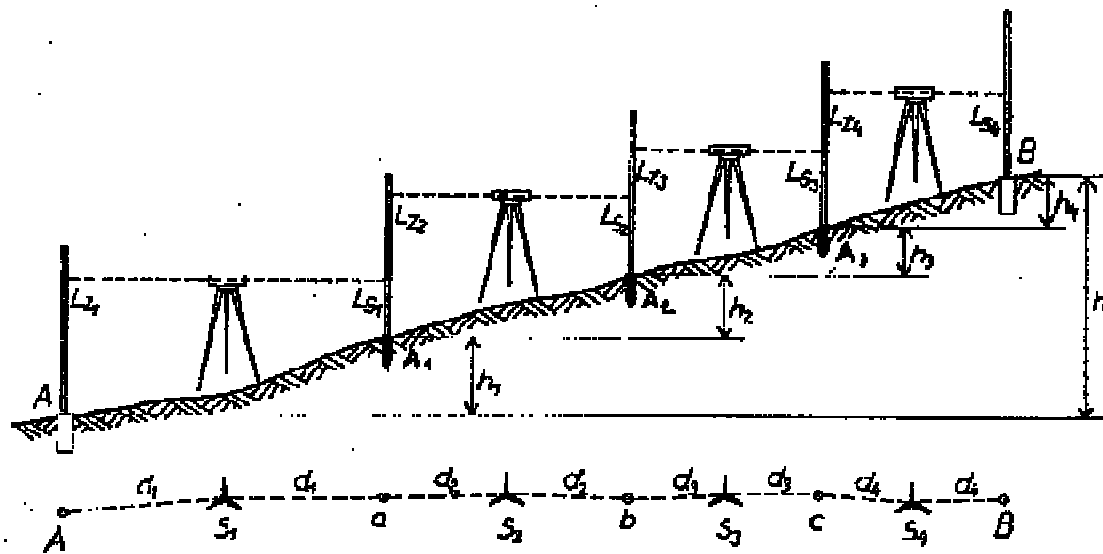
Pri določanju višine reperja R_{Fgg} smo uporabili metodo niveliranja iz sredine. Niveliranje je najnatančnejša metoda določanja višinskih razlik oz. absolutnih (nadmorskih) višin točk. Postopek je enostaven. Na obeh krajiščih imamo nivelmanski lati, instrument pa postavimo v sredino. Razdalji med instrumentom in lato A oz. lato B morata biti čimbolj enaki in naj ne odstopa za več kot 3 metre. Pri niveliranju uporabljamo horizontalno linijo, od katere določamo odčitke na vertikalno postavljenih latic. Nahajata se na točkah, med katerima določamo višinsko razliko. Horizontalno optično linijo realizira vizura. Vizura je optična os daljnogleda nivelirja, ki jo bremeni pogrešek ε , ki ga imenujemo nehorizontalnosti vizure.

$$L'_A - d \times \varepsilon = \Delta_{AB} + L'_B - d \times \varepsilon \quad (3.4)$$

Ker je $d = d_1 \approx d_2$ približno ista razdalja se ta pogrešek eliminira. To je torej dokaz, da je ta način niveliranja zanesljiv in zato ga tudi največ uporabljamo (Pigato, 1998).

3.4 Pogreški pri nivelirju

Pogreški so slučajni in sistematični. Pogreškov pri niveliranju je več, zato bomo omenili le nekatere. Omenili bomo torej tiste, ki se najpogostejše pojavljajo. Kljub rektifikaciji nivelirja in pribora ter izbiri optimalnih pogojev pri meritvah, se pri merjenju pojavijo raznorazni pogreški. Te porazdelimo na pogreške nivelirja, lat in pogreški zaradi neupoštevanja dejanskih pogojev okolja itd.



Slika 3.2: Primer niveliranja iz sredine (URL 6, 2012).

Nekatere pogreške lahko eliminiramo z metodami dela in jih v večini primerov eliminiramo z niveliranjem iz sredine. Pogreške lat upoštevamo tako, da uporabimo komparirane nivelmanske late. Komparacijo bi morali narediti vsaj enkrat letno. Primer komparacijskega poročila za digitalno lato GPCL2 33819, ki smo jo uporabljali pri meritvah, je v prilogi (Priloga D).

4 DOLOČITEV POLOŽAJNIH KOORDINAT TOČK 1, 2, 3 IN 4

Namen diplomske naloge je določitev koordinat stebrov stojišč 1, 2, 3 in stebra 4, z njihovimi natančnostmi. Stebri se nahajajo v stavbi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v učilnici 'Zimske vaje'. Delo na terenu potekalo v treh dneh:

Prvi dan: priprava mreže in določitev lokacij začasnih stojišč

Drugi dan: meritve mreže

Tretji dan: niveliranje od reperja R_{Fgg} do MN/101 in nazaj.

Na začetku projektiranja mreže si moramo postaviti nek cilj, ki ga želimo doseči. Cilj ni samo v tem, da določimo koordinate iskanih ali novih točk: važna je tudi natančnost. Natančnost je v geodeziji bistvena. Na natančnost, ki jo dobimo kot končni rezultat, vpliva izbira instrumentarija in merske opreme, metoda izmere, pogoji med izmero, geometrija mreže, izkušnost opazovalca itd.

Mrežo, ki smo jo izmerili v diplomski nalogi, sestavlja:

- 1 dana točka (FggIV) in orientacije točk (zvonik cerkve sv. Jakoba, zvonik cerkve na Rožniku, Trgovski center Murgle, Fakulteta za elektrotehniko in 605c - Nebotičnik), ki predstavljajo orientacijsko mrežo,
- 4 iskane točke (1, 2, 3, 4),
- 5 začasno postavljenih stojišč (5, 6, 7, 8, 9) in
- 1 steber (FggIII).



Slika 4.1: Ravninska mreža (URL 1, 2011).

Dana točka FggIII in steber FggIV se nahajata na strehi Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Nanju lahko instrument prisilno centriramo. Ostale točke, z izjemo iskanih stebrov, poimenovanih 1, 2, 3, 4, so začasna stojišča. Ta stojišča nismo stabilizirali, ker ni bilo interesa, da bi jih v nadaljnjem zopet uporabljali. Začasna stojišča smo označili s plavim barvilom. Nahajala so se vzdolž Jamove ulice v Ljubljani, stojišče 5 pa na ulici Mirje. Vsa začasna stojišča, z izjemo stojišča 9, so bila na asfaltirani podlagi. Stojišče 9 smo postavili tik pred stavbo fakultete. Na stojiščih smo postavili statve s prizmami. Stebri 1, 2, 3 in 4 pa so v učilnici 'Zimske vaje'. Tudi ti stebri, kot stojišča na strehi, omogočajo prisilno centriranje.

Meritve so potekale na vsaki točki. Proti vsaki točki v mreži smo merili horizontalne smeri in dolžine, proti orientacijskim točkam pa samo kote. Metodo, ki smo jo uporabili je girusna metoda. Izmerili smo tri giruse.

4.1 Opis instrumentarija in pribora

Merski instrumentarij, ki smo ga uporabljali med meritvami je:

- tahimeter *Leica FlexLine TS06*,
- 5 stativov in 10 reflektorjev *Leica*
- žepni merski trak,
- *Meteo station Hm 30*. Meril je relativno vlažnost, temperaturo in tlak,
- radijska povezava

4.1.1 Leica FlexLine TS06

Pri meritvah ravninske mreže smo uporabljali tahimeter *Leica FlexLine TS06*. Instrument in celoten pribor mi je omogočila uporabo Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. V spodnji preglednici 4.1 je podanih nekaj osnovnih tehničnih podatkov instrumenta.



Slika 4.2: Meteo station HM30.

Preglednica 4.1: Podatki instrumenta *Leica FlexLine TS06* (URL 7, 2011).

Natančnost merjenja kotov po ISO 17123-3:	
$\sigma =$	1.5 "
Natančnost merjenja dolžin po ISO 17123-4:	
σ (s standardno prizmo) =	1.5 mm; 2 ppm
σ (nad 3.5 km) =	5 mm; 2 ppm
σ (brez prizme od 0 do 500 m) =	2 mm; 2 ppm
σ (brez prizme nad 500m) =	4 mm; 2 ppm

4.2 Stabilizacija točk 1, 2, 3 in 4

Geodetska točka je točka na fizični površini Zemlje. Točke lahko stabiliziramo le z jeklenim čepom,



Slika 4.3: Prikaz stebrov 4 levo in 3 desno s pritrjenimi prizmami. Vmes je steber R_{Fgg} .

pomembnejše točke pa primerno stabiliziramo celo z masivnimi temelji in z betonskimi stebri. Pri natančnih meritvah želimo imeti možnost prisilnega centriranja. Stabiliziramo jih na mestih, da jo lahko vidimo daleč naokrog, sproti pa pazimo, da je čim manj moteča v naravnem okolju. Običajno so to armirano betonski stebri, ki so dodatno zaščiteni z betonsko cevjo in vmesnim praznim prostorom, ki ga izpolnjuje temperaturni izolator. Steber ima v tem primeru veliko temperaturno odpornost.

V učilnici 'Zimske vaje' so stebri betonski in pravokotne oblike. Na vrhu betonske ploskve stebra je vzidan sistem, ki omogoča prisilno centriranje. Na kovinski plošči je pritrjen trinožni podstavek *Leica*. Ta je trajno pritrjen na stebru s srčnim vijakom.

4.3 Priprava podatkov za izravnavo

Pred začetkom izravnave pripravimo merske podatke. Pri računanju sredin girusov in pri redukciji dolžin smo uporabili računalniški program Excel.

4.3.1 Izračun sredin merjenih horizontalnih kotov

Pri izbiri začetne vizure velja, da običajno izberemo signal, ki je dobro osvetljen in viden ter ga lahko brez problemov viziramo. Merimo v dveh krožnih legah in začnemo po smeri urinih kazalcev. Nato izračunamo sredine merjenih horizontalnih kotov.

4.3.2 Redukcija dolžin

Osnovni princip merjenja dolžin z elektronskimi razdaljmeri je določitev velikost dolžine na osnovi izmerjenega časa, v katerem elektromagnetno valovanje prepotuje razdaljo med začetno in končno točko (Kogoj, 2005).

Razdalja med začetno in končno točko potuje po ozračju in je obremenjena z različnimi vplivi. Zato je dolžine, merjene na terenu potrebno reducirati.

Redukcijo razdelimo na tri vrste popravkov. Ti so meteorološki, geometrični in projekcijski popravki. Odločili smo se, da bomo za opis redukcije dolžin uporabljali dolžino med točko Fgg4 in med točko 1. Tako lahko opazujemo, kako se dolžina spreminja preko vsake posamezne redukcije.

Dolžina je bila izmerjena dvakrat: iz stojišča Fgg4 proti stojišču 1 in obratno. To pomeni, da smo imeli v času merjenja različni temperaturi, različna tlaka in različni relativni vlažnosti. V spodnji preglednici so podane izmerjene količine v času merjenja.

Preglednica 4.2: Merjene količine na terenu.

Stojišče	Vizura	D _{merjena} [m]	Temperatura [°C]	Relativna vlažnost [%]	Tlak [hPa]	Višina instrumenta [m]	Višina signala [m]
Fgg4	1	122,5482	33,6	30,20	973,05	0,2392	0,0000
1	Fgg4	122,5482	31,50	34,85	975,95	0,0000	0,0000

Za redukcijo nam te količine ne zadostujejo. Pri merjenju izmerimo še zenitno razdaljo. Potrebujemo še koordinate točk Fgg4 in stojišča 1 in njihovo nadmorsko višino. V našem primeru je stojišče Fgg4 dano, drugega pa smo izračunali. Ostali podatki, ki jih bomo potrebovali za redukcijo dolžin so podani v spodnjih preglednicah.

Preglednica 4.3: Zenitna razdalja in horizontalni kot.

Stojišče	Vizura	Zenitna razdalja	Horizontalni kot
Fgg4	1	101°52'43''	356°53'22"
1	Fgg4	78°07'15"	00°00'00"

Preglednica 4.4: Koordinate stojišč v Gauß-Krügerjevem koordinatnem sistemu.

Točka	y = [m]	x = [m]	h = [m]
Fgg4	461259,2767	100277,3450	321,5127
1	461332,4202	100279,2219	296,5267

4.3.2.1 Referenčne vrednosti

Za redukcijo dolžin uporabljamo vrednost radija Zemlje. V našem primeru smo uporabili vrednost radija 6377000,000 m.

Poleg radija Zemlje potrebujemo še koeficient refrakcije (v nadaljevanju vrednost k). Računamo ga na eksperimentalni način in njegova vrednost je rezultat praktičnih meritev. Njegova vrednost se zaradi

sprememb atmosferskih pogojev spreminja. Vrednost tega koeficienta se giblje med 0.10 in 0.16. Običajno določimo povprečno vrednost k za neko območje. Iz praktičnih razlogov in zaradi dogovora pri računanju redukcije dolžin uporabljamo vrednost 0.13. Vrednost se tekom dneva zelo spreminja in je najbolj stabilna med 10 uro in 13.

Glede na tip instrumenta so nam dane določene referenčne vrednosti. Te vrednosti uporabimo pri redukciji merjene dolžine.

Adicijska konstanta k_a in multiplikacijska konstanta k_m imata vednosti 0,000 m in 1,000. Uporabljali smo prizme *Leica* GPH1. Te vrednosti lahko določi proizvajalec ali pa jih določimo tudi sami. Vpliv upoštevamo z enačbo:

$$D' = (D_{mer} \cdot k_m) + k_a \quad (4.1)$$

4.3.2.2 Meteorološki popravki

Pri merjenju z elektronskimi razdaljmeri se elektromagnetno valovanje širi skozi zemeljsko atmosfero (zrak). Zato na gostoto zraka, skozi katero se širi elektromagnetno valovanje, vplivajo meteorološki parametri (Koželj, 2004). Ko merimo dolžine z elektronskim razdaljmerom, moramo obvezno meriti meteorološke parametre. S temi parametri lahko ugotovimo gostoto zraka. V odvisnosti od gostote, ima elektromagnetno valovanje različne hitrosti kar privede do različne merjene količine. Meteorološki vpliv se veča z večanjem dolžine in odstopanjem parametrov od normalnih, ki jih določi proizvajalec.

Elektromagnetno valovanje, ki ga ustvari tahimeter, potuje po ozračju do prizme, se odbije in se po isti poti vrne. Valovanje potuje z različno hitrostjo, ker vemo, da gostota zraka ni enakomerno razporejena. Zato meritve o temperaturi, relativni vlažnosti in tlaka opravimo na stojišču instrumenta in na stojišču reflektorja. Pojavi se problem, da težko zagotavljamo neprekinjeno merjenje meteoroloških parametrov. Te parametre smo zato na vsakem stojišču instrumenta dvakrat izmerili in sicer na začetku in koncu meritev. Iz obeh vrednosti smo izračunali sredine.

Prvi popravek hitrost

Lomni količnik je po definiciji razmerje med fazno hitrostjo razširjenja elektromagnetnega valovanja v praznem prostoru c in razširjenja v snovi.

$$n = \frac{c}{v} \quad (4.2)$$

Fazno hitrost pa dobimo tako, da predelamo formulo in dobimo:

$$v = \frac{c}{n} \quad (4.3)$$

Pri moduliranju nosilnega valovanja z modulacijsko frekvenco f_M je valovna dolžina merskega vala določena na osnovi poznane hitrosti svetlobe c (c_0) in lomnega količnika sredstva, skozi katero se širi n (n_0) (Kogoj, Vodopivec, 2003).

$$\lambda_M = \frac{c}{f_M} = \frac{c_0}{n_0 \cdot f_M} \quad (4.4)$$

Pri merjeni dolžini D_{mer} ima valovna dolžina vrednost, ki se glede na osnovno enačbo nanaša na lomni količnik n_0 in s tem na točno določeno referenčno hitrost razširjanja elektromagnetnega valovanja. Vrednost n_0 imenujemo *referenčni lomni količnik*. Ta je količnik uporabljenega elektromagnetnega valovanja izvora svetlobe elektronskega razdaljemera za izbrane pogoje, za uporabljeni tip instrumenta določi proizvajalec (Kogoj, 2005).

$$n_0 = n(\lambda_{Neff}, t_0, p_0, e_0) \quad (4.5)$$

Referenčni pogoji za instrument *Leica FlexLine TS06*:

$$\lambda_{Neff} = 0,658 \text{ } \mu\text{m}$$

$$t_0 = 12^\circ\text{C}$$

$$p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$$

$$e_0 = 0 \text{ hPa}$$

$$n_0 = 1,0002812$$

Pred obdelavo dolžine moramo izračunati *grupni lomni količnik*. Z Cauchyjevo interpolacijsko enačbo je opisana disperzija svetlobnega valovanja valovne dolžine valovanja λ za popolno monokromatično

svetlobno valovanje. Valovanje laserskega impulza ležijo v spektru elektromagnetnega valovanja v območju vidne svetlobe, zato je lomni količnik n odvisen od valovne dolžine valovanja (4.6) in meteoroloških pogojev atmosfere (4.7) (Koželj, 2004).

$$n = n(\lambda) \quad (4.6)$$

$$n = n(t, p, e) \quad (4.7)$$

Pri meteoroloških pogojih atmosfere je t temperatura, p zračni tlak in e delni tlak vodne pare.

$$(n - 1) \cdot 10^6 = N = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \quad (4.8)$$

A , B in C so empirično določene konstante v laboratorijskih pogojih. Hitrost širjenja monokromatičnega valovanja imenujemo tudi fazna hitrost, ki jo zapišemo (Kogoj, 2005):

$$c_f = \frac{c_0}{n_F} \quad (4.9)$$

Popolnega monokromatičnega svetlobnega valovanja ne dosežemo. Valovanje, ki je uporabljeno v elektrooptičnih razdaljemerih, vsebuje ozko območje valovanj različnih valovnih dolžin in s tem tudi različne hitrosti elektromagnetnega valovanja. Vsa ta harmonična valovanja se prekrivajo in tvorijo tako imenovane valovne skupine ali grupe. Energija se pri tem širi z maksimalno intenziteto te valovne skupine s tako imenovano grupno hitrostjo c_G (Koželj, 2004). Grupna hitrost se nanaša na efektivno valovno dolžino λ_{Neff} . Predstavlja težišče valovnih dolžin glede na intenziteto in je določena po enačbi 4.9, za našo rabo pa izračunamo grupni lomni količnik po Cauchyjevi interpolacijski enačbi 4.10.

$$(n_G - 1) \cdot 10^6 = N_G = A + 3 \frac{B}{\lambda_{Neff}^2} + 5 \frac{C}{\lambda_{Neff}^4} \quad (4.10)$$

Vrednosti empiričnih konstant A , B in C povzamemo v spodnji preglednici:

Preglednica 4.5: Vrednosti empiričnih konstant za izračun N_G pri različnih avtorjih.

Avtor	Območje	A	B	C
Edlen (1953)	$0.43 \mu\text{m} < \lambda_{\text{Neff}} < 0.65 \mu\text{m}$	287.569	1.6201	0.0139
Barrell – Sears (1939)	$0.18 \mu\text{m} < \lambda_{\text{Neff}} < 0.65 \mu\text{m}$	287.604	1.6288	0.0136
Edlen (1966)	$0.18 \mu\text{m} < \lambda_{\text{Neff}} < 2.10 \mu\text{m}$	287.583	1.6134	0.0144
IAG (1999)	$0.65 \mu\text{m} < \lambda_{\text{Neff}} < 0.85 \mu\text{m}$	287.6155	1.62887	0.01360

Konstante veljajo za posamezne vrednosti valovnih dolžin λ_{Neff} in predvidene normalne pogoje v zemeljski atmosferi.

Dolžino ne merimo v pogojih normalne atmosfere. Merjeno temperaturo, tlak in relativno vlažnost vstavimo v enačbe za izračun dejanskega lomnega količnika.

Rezultat, ki iščemo je $(n_g - 1)$. Tega bomo uporabili v nadaljnjih izračunih dejanskega lomnega količnika svetlobe.

$$(n_G - 1) = 0,00029926 \quad (4.11)$$

Izračun dejanskega lomnega količnika svetlobe za stojišči Fgg4 in stojišče 1

Podatki:

$(n_g - 1)_{\text{Fgg4}} = 0,00029926$	Grupni lomni količnik na stojišču Fgg4
$(n_g - 1)_1 = 0,00029926$	Grupni lomni količnik na stojišču 1
$e_{\text{Fgg4}} = 14,5178 \text{ mbar}$	Delni tlak vodne pare na stojišču Fgg4
$e_1 = 13,5219 \text{ mbar}$	Delni tlak vodne pare na stojišču 1
$t_{\text{Fgg4}} = 33,60 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura na stojišču Fgg4
$p_{\text{Fgg4}} = 973,050 \text{ mbar}$	Zračni tlak na stojišču Fgg4
$t_1 = 31,50 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura na stojišču 1
$p_1 = 975,950 \text{ mbar}$	Zračni tlak na stojišču 1
$\alpha = 0,003661 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	Razteznostni koeficient zraka

Novejši inštrumenti sami upoštevajo pri merjenju razdalj meteorološke parametre. Meri jih celo instrument sam in potem izmerjene podatke uporabi pri redukciji dolžine. Pri nekaterih instrumentih te podatke vnesemo med merjenjem, kjer jih instrument naknadno upošteva pri izmerjeni razdalji. V našem primeru bomo uporabili te podatke za izračun dejanskega lomnega količnika.

Redukcijo normalne atmosfere v dejanske atmosferske pogoje interpoliramo po enačbi Barrell – Sears, ki jo je preuredil Kohlrausch:

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha} \cdot \frac{p}{760} - \frac{5,5 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha} \cdot e \quad (4.12)$$

ko imamo podatke za p in e v (torr);

$$n_D = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha} \cdot \frac{p}{1013,25} - \frac{4,1 \cdot 10^{-8}}{1 + \alpha} \cdot e \quad (4.13)$$

če imamo p in e v [hPa] (Koželj, 2004).

Naši podatki so v [hPa] zato bomo uporabljal navedeno enačbo (4.13). Rezultat je podan v spodnji preglednici:

Preglednica 4.6: Vrednosti konstant n_D na stojiščih Fgg4 in 1.

Stojišče	Vrednost n_D
Fgg4	1,00025538
1	1,00025795

Vrednosti se rahlo razlikujeta na peti decimalki.

Velja še dejstvo, da je optična pot za referenčne in dejanske pogoje enaka. Za dejansko dolžin prostorske refrakcijske krivulje velja:

$$D \cdot n_D = D_a \cdot n_0 \quad (4.14)$$

(dejanska vrednost = merjena vrednost)

Če enačbo preuredimo dobimo:

$$D = D_a \cdot \frac{n_0}{n_D} \quad (4.15)$$

Prvi popravek hitrosti lahko imenujemo ppm popravek. To izhaja iz dejstva, ker pride do relativne spremembe dolžine na kilometer (mm/km oz. ppm) (Pigato, 1995).

Multiplikacijska konstanta prvega popravka hitrosti nam je dana:

$$k_M = 1 + k_{nr} = \frac{n_0}{n_D} \quad (4.16)$$

Dolžini popravljene s prvim popravkom hitrosti sta torej:

$$D_{\text{fgg4-1met}} = 122,5520 \text{ m}$$

$$D_{1\text{-fgg4met}} = 122,5517 \text{ m}$$

Drugi popravek hitrost

Pri računanju drugega popravka hitrosti pride v poštev radij Zemlje in koeficient refrakcije. Predpostavimo torej, da se vrednost dejanskega lomnega količnika med stojiščem Fgg4 in stojiščem 1 spreminja linearno. Z naraščanjem višinske razlike se manjša gostota zraka in s tem tudi lomni količnik. Predpostavka o linearni spremenljivosti lomnega količnika med krajnima točkama je pravilna le v primeru, kadar je ukrivljenost vertikalne komponente prostorske krivulje enaka ukrivljenosti površine Zemlje. To pa v splošnem ni zagotovljeno, ker svetlobni žarek, zaradi manjše ukrivljenosti, poteka skozi plasti bližnje površni.

V našem primeru je višinska razlika med stojišči približno 24 metrov, razdalja pa malo daljša od 120 metrov. Sprememba lomnega količnika je večja in linearna, torej:

$$\Delta n = -y_m \cdot \frac{dn}{dH} \quad (4.17)$$

Zaradi odvisnosti člena $\frac{dn}{dH}$ od valovne dolžine veljajo različne vrednosti za svetlobne valove in mikrovalove. Po Hopckeu velja, da je približno:

$$\frac{dn}{dH} = -\frac{1}{r} = -\frac{k}{R} \quad (4.18)$$

Srednjo oddaljenost krivulje y_m izračunamo iz približne enačbe za maksimalno oddaljenost krivulje y_{\max} .

$$y_{\max} = \frac{D_a^2}{8 \cdot R} \cdot (1 - k) \quad (4.17)$$

$$y_m = \frac{2}{3} y_{\max}$$

Iz tega pridemo lahko končno do izraza, kjer bomo dolžino popravili za drugi popravek hitrosti.

$$k_{\Delta n} = -D \cdot \Delta n = -(k - k^2) \cdot \frac{D^3}{12R^2} \quad (4.18)$$

Rezultat dolžine $D_{\text{Fgg4-1}}$ in $D_{1-\text{Fgg4}}$ je podan v spodnji preglednici:

Preglednica 4.7: Rezultati drugega popravka hitrosti.

$D_{\text{Fgg4-1}} =$	122,5520 m
$D_{1-\text{Fgg4}} =$	122,5517 m

Vpliv drugega popravka doseže vrednosti 1 ppm šele pri dolžinah, daljših od približno 65 km pri elektrooptičnih razdaljemerih, zato ga v večinoma v praksi ni potrebno upoštevati. (Kogoj, 2005; Rejec, 2003; Koželj, 2004)

4.3.2.3 Geometrični popravki

Geometrične popravke lahko definiramo na dva načina. Ločimo jih od projekcijskih popravkov. Geometrični popravki pomenijo razliko med prostorsko krivuljo D , definirano z refrakcijsko krivuljo in sfernim lokom na referenčni ploskvi. Lahko pa jo definiramo z refrakcijsko krivuljo in premo poševno dolžino na nivoju točk in sicer na dolžino kamen-kamen.

Omejimo se na drugi način obravnave geometričnih popravkov. Zanima nas kako izračunati dolžino kamen-kamen. Ločeno obravnavamo popravek zaradi ukrivljenosti refrakcijske krivulje ter popravke zaradi horizontalnih in vertikalnih ekscentričnosti (Koželj, 2004).

Popravek zaradi ukrivljenosti merskega žarka

Dolžino, ki iščemo, je tetiva zamišljenega kroga, dobljenega iz podaljškov izmerjene dolžine. Zato moramo določiti razliko med dolžino refrakcijske krivulje in njeno pripadajočo krivuljo. Merjena dolžina je zaradi refrakcije prostorska krivulja. Poleg tega se še lomi iz prehoda iz enega v drugi sloj gostote zraka. Krožni lok ima torej nek radij r in je v razmerju z radijem Zemlje R :

$$k = \frac{R}{r} = \frac{1}{8} = 0,13 \quad (4.19)$$

Ne zanemarimo dejstva, da lahko dejanske vrednosti znatno odstopajo. Merjeno dolžino D je potrebno reducirati na prostorsko tetivo, ki jo po dogovoru označimo S_r (Kogoj, 2005).

Dolžino S_r dobimo po enostavni enačbi:

$$S_r = D + k_r \quad (4.20)$$

kjer k_r izračunamo po spodnji enačbi:

$$k_r = -k^2 \cdot \frac{D^3}{24R^2} \quad (4.21)$$

Rezultati obdelave dolžine so podani v spodnji preglednici:

Preglednica 4.8: Rezultati zaradi ukrivljenosti merskega žarka.

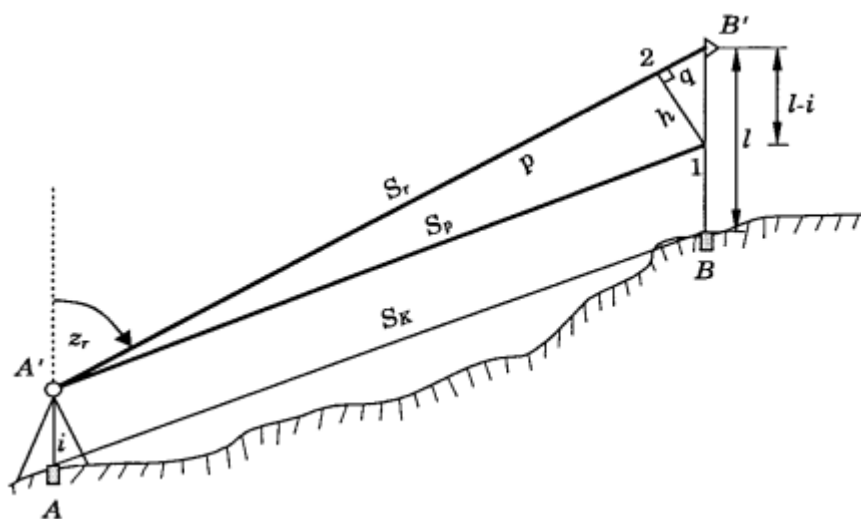
$S_{r\,Fgg4-1}$	122,5520 m
$S_{r1-Fgg4}$	122,5517 m

Dolžina se od prejšnje ni spremenila. Pri dolžinah do 100 km je velikost popravka manjša od 1 ppm, zato se lahko v normalnih pogojih meritev računanja tega popravka opusti (Kogoj, 2005).

Izračun dolžine na nivoju razdaljemera in redukcija S_k "Kamen – Kamen"

Dolžino merimo na neki določeni višini. Instrument in reflektor sta postavljena na različni višini nad točko. V večini primerov se višina instrumenta izmeri kar z žepnim merskim trakom. Izmerimo od vrha točke, ki je stabilizirana na tleh do znaka, ki je postavljen na desni strani ohišja instrumenta. Na stativu, kjer imamo reflektor, ponovimo merjenje višine na isti način.

Ni pa vedno nujno, da te višine sproti merimo in jih uporabljamo v izračunih. V našem primeru, stojišča označena s števkami 5, 6, 7, 8 in 9, imajo višine 0,000 m. To pa iz enostavnega razloga, ker ta stojišča niso bila stabilizirana. Ostala stojišča smo zmerili in zato bomo vseeno izračunali redukcijo.



Slika 4.4: Izračun dolžine na nivoju točk ob merjeni zenitni razdalji (Kuhar, 2000).

Merjena je tudi zenitna razdalja med točkama. Merjena zenitna razdalja na stojišču instrumenta z'

sovpada z nagibom svetlobnega žarka razdaljemera. S_k ali redukcija "kamen – kamen" je rezultat, ki ga iščemo (Slika 4.3). Izhajamo iz prej izračunane dolžine S_r . Zato to dolžino najprej reduciramo na dolžino S_p nato za višino i (instrumenta) in višino l (reflektorja) še znižamo na S_k . Potek računanja je prikazan v nadaljevanju.

$$S_p = S_r - (l - i) \cdot \cos z_r + \frac{[(l - i) \cdot \sin z_r]^2}{2 \cdot S_r} \quad (4.22)$$

Velikost drugega člena je zelo odvisna od razlike višin razdaljemera in reflektorja $(l - i)$ ter od velikosti zenitne razdalje. Pri razliki $(l - i) = 0.17$ m in vrednosti zenitne razdalje $z_r = 90^\circ$, je za vse dolžine $S_r > 15$ m, drugi člen manjši od 1 mm (Kogoj, 2005).

V spodnji preglednici so navedeni rezultati naših izračunov.

Preglednica 4.9: Rezultati redukcije do S_p .

$S_{p \text{ Fgg } 4-1}$	122,5030 m
$S_{p \text{ Fgg } 4-1}$	122,5517 m

Dolžina, merjena iz stojišča Fgg4, se spremeni za dobrih 5 cm. Sledi še redukcija "kamen – kamen":

$$S_k = S_p - \Delta i = S_p - \frac{i S_p}{R} \quad (4.23)$$

Velikost popravka Δi je običajno majhna in je odvisna od višine instrumenta i ter dolžine S_p . Največkrat je ni potrebno upoštevati (Rejec, 2003). Razlika je v stotinki milimetra.

Preglednica 4.10: Rezultati redukcije 'kamen – kamen'.

$S_{k \text{ Fgg } 4-1}$	122,5030 m
$S_{k 1-Fgg 4}$	122,5517 m

4.3.2.4 Projekcijski popravki

Izračun in upoštevanje projekcijskih popravkov pomeni prehod s prostorske poševne dolžine na nivoju točk S_k na sferni lok S na nivoju referenčnega horizonta na referenčni ploskvi ter nato v izbrano projekcijsko ravnino (Kogoj, 2005).

Pri projekcijskih popravkih je potrebno uporabiti tudi elipsoidne višine, najpogosteje pa so lahko tudi na voljo ortometrične oziroma absolutne nadmorske višine. Sistemi višin so opisani v poglavju 3.2. V nadaljevanju bomo uporabljali izraz nadmorske višine, ker smo te tudi uporabljali.

V zadnjem delu redukcij uporabljamo tudi Gauß – Krügerjeve koordinate točk stojišč. V nalogi, razen stojišča Fgg4, smo pri redukciji dolžin uporabljali približne koordinate novih stojišč. Srednjo vrednost dolžine uporabimo za zadnjo redukcijo.

Horizontiranje in redukcija na ničelni nivo

Pri prehodu dolžine s prostorske tetive S_k na tetivo S_0 v nivoju horizonta morajo biti znane višine krajnih točk (H_A in H_B) ali višina točke ene krajne točke (H_A) in merjena zenitna razdalja (z_A) (Rejec, 2003).

Horizontiranje dolžine S_k :

$$S_m = S_k \cdot \sin \left(z' + \frac{S_k}{2 \cdot R} \cdot (k - \sin z') \right) \quad (4.24)$$

Rezultati računa so v spodnji preglednici:

Preglednica 4.11: Rezultati horizontiranja dolžine.

$S_{m\text{ Fgg 4-1}}$	119,8799 m
$S_{m1-\text{Fgg 4}}$	119,9269 m

Pri redukciji na ničelni nivo moramo izračunati srednjo višino med dvema stojišči. Srednjo nadmorsko višino označimo s H_m . Pri preciznih merjenjih je že pri manjših višinskih razlikah in kratkih dolžinah ne smemo zanemariti (Kogoj, 2005).

Redukcija na ničelni nivo dolžine S_0 :

$$S_0 = S_m \cdot \frac{R}{R + H_m} \quad (4.25)$$

Rezultati redukcije na ničelni nivo so:

Preglednica 4.12: Rezultati redukcije na ničelni nivo.

$S_{0Fgg4-1}$	119,8740 m
$S_{01-Fgg4}$	119,9211 m

Izračun dolžine loka na referenčni ploskvi

Prehod s tetive S_0 na lok S na plašču referenčne krogle lahko izračunamo na dva načina. Prvi način je po strogi enačbi:

$$S = 2R \arcsin\left(\frac{S_0}{2R}\right), \quad (4.25)$$

ali pa v obliki redukcije Zemlje k_r :

$$k_r = \frac{S_0^3}{24R^2}, \quad (4.26)$$

kjer je

$$S = S_0 + k_r. \quad (4.27)$$

Dolžino loka S sem izračunal po strogi enačbi in rezultati so podani v preglednici (4.13).

Preglednica 4.13: Rezultati prehoda na ničelni nivo

S_{Fgg4-1}	119,8740 m
S_{1-Fgg4}	119,9211 m

Redukcija v Gauß – Krügerjevo projekcijo

Gauß – Krügerjeva projekcija je matematična preslikava točk z elipsoida na ravnino, pri katerem se ohranjajo koti torej je konformna projekcija. Ta projekcija je bila do leta 2008 državna projekcija republike Slovenije, ki se je v katastru ne uporablja več, na drugih področjih geodezije pa še vedno.

Če računamo deformacije po enačbi:

$$k_{GK} \cong \frac{y^2}{2R^2} S \quad (4.28)$$

dobimo na robu meridianske cone za naše območje (širina cone $\pm 1.5^\circ \cong 127$ km) že deformacijo 20 cm / km. Zgornjo enačbo lahko imenujemo *enačba dolžinske deformacije*. Tako znaša relativna natančnost komaj 1 : 5000, postavljena pa je zahteva po relativni natančnosti 1 : 10000. To dosežemo z modulacijo – zmanjšanjem merila (Kogoj, 2005). Vse koordinate torej pomnožimo z modulom:

$$m_0 = 1 - 0,0001 = 0,9999$$

Približne koordinate stojišč pomnožimo z modulom m_0 . Kot zadnji postopek redukcije dolžine zato zapišemo enačbo:

$$S_{GKM} = S \cdot \left(1 + \frac{y_m^2}{2 \cdot R^2} - 0,0001 \right) \quad (4.29)$$

kjer je:

$$S = \frac{S_{Fgg4-1} + S_{1-Fgg4}}{2} \quad (4.30)$$

in

$$\bar{y}_m = \frac{\bar{y}_{Fgg4-1} + \bar{y}_{1-Fgg4}}{2}. \quad (4.31)$$

Končni rezultat redukcije dolžine je:

$$S_{GKM} = 120,1992 \text{ m}$$

Vse dolžine v mreži, izračunane po tem postopku, so vrednosti, ki jih bomo uporabili v izravnavi. Vse redukcije smo izračunali s programom Excel in so v prilogi (PRILOGA B).

4.3.3 Izračun višinskih razlik s trigonometričnim višinomerstvom

V geodeziji ločimo dva načina pri določevanju višine točke. Ta dva načina sta nivelman in trigonometrično višinomerstvo. Na osnovi izmere in izračunane višinske razlike določimo višino nove točke z upoštevanjem izhodišča.

Trigonometrično višinomerstvo lahko definiramo kot določevanje višinske razlike med dvema točkama na osnovi izmere zenitne razdalje (višinskega kota) in horizontalne razdalje izračunane iz koordinat ali poševne dolžine, ki jo izmerimo. Trigonometrično višinomerstvo pride v poštev na težko dostopnem območju, kjer je nivelman nemogoče izpeljati. Metoda je primerna glede na konfiguracijo terena, gospodarnost in na zahtevano natančnost (Rejec, 2003).

V diplomski nalogi smo uporabljali trigonometrično višinomerstvo za izračun približnih višin točk, ki smo jih v nadaljevanju uporabili za redukcijo dolžin. Iz izhodiščne točke Fgg4 smo izračunali vse višine točk v mreži.

$$H_{FggIV} = 321,5127 \text{ m}$$

4.3.3.1 Izračun sredin merjenih zenitnih razdalj

Zenitne razdalje merimo s teodoliti ali s tahimetri. V zenitu je vrednost kota 0° v nadiru pa 180° . Pri merjenju zenitnih razdalj je refrakcija tista, ki zmanjšuje natančnosti določitve višinskih razlik v trigonometričnem višinomerstvu. Večja je razdalja, večji je njen vpliv. Pri upoštevanju določenih pravil lahko povečamo natančnost.

Pravila so naslednja:

- Merjenje zenitnih razdalj naj poteka med enajsto in trinajsto uro, ko se refrakcija najmanj spreminja.
- Skušamo meriti obojestransko in istočasno.
- Natančnost pada s kvadratom razdalje med točkama, ki jima določamo višinsko razliko.

Priporočljivo je, da višinska razlika med točkama ni prevelika (Rejec, 2003).

Sredine zenitnih razdalj računamo po enačbi (Kolenc, 2008):

$$z_i = \frac{z_i' - z_i'' + 360^\circ}{2}, \quad (4.31)$$

$$z_i = \frac{z_i' - z_i'' + 400 gon}{2}$$

kjer so:

Z_i zenitna razdalja,

Z_i' odčitek zenitne razdalje v I. krožni legi,

Z_i'' odčitek zenitne razdalje v II. krožni legi.

4.3.3.2 Izračun višinskih razlik

Pri računanju višinske razlike imamo kot dano količino višino točke, kjer je postavljen tahimeter.

Merjene količine so:

- zenitna razdalja
- razdalja med dano točko in merjeno
- višina inštrumenta in višina tarče.

Splošna rešitev izračuna višinske razlike je prikazana v enačbi (4.32):

$$\Delta h_A^B = d_{AB} \operatorname{ctg} z_{AB} + i_A - l_B \quad (4.32)$$

V enačbo dodamo še radij Zemlje in koeficient refrakcije. Vrednost polmera Zemlje smo privzeli in znaša 6377000 m. Za Slovenijo je pa koeficient refrakcije določen z vrednostjo 0,13. Enačba, ki smo jo uporabili pri računanju približnih višin stojišč v mreži je:

$$\Delta H = S_r \times \cos z + (1 - k) \times \frac{S_r^2}{2R} \times \sin z + 1 - l \quad (4.33)$$

Dobljene višine stojišč smo uporabili pri reduciranju dolžin med stojišči.

4.4 Izravnavna položajne mreže

Pomemben del naloge, pri iskanju vrednosti koordinat, je izravnavna položajne mreže. V izravnavi ločimo tri vrste količine.

Te količine so:

- merjene količine,
- dane količine in
- iskane količine.

Pri izravnavi ločimo tudi dve metodi izravnavne. Izravnavna merjenih dolžin in smeri s posredno izravnavo ali pogojno izravnavo. Metoda pogojne izravnavne se zaradi nepraktičnosti ne uporablja več.

Posredna izravnavna je za kombinirane mreže bolj uporabna in racionalna. Ko imamo opazovanja ustrezno obdelana, je potrebno vzpostaviti zvezo med opazovanimi in neznanimi količinami v geodetski mreži. Za rešitev matematičnega modela potrebujemo zadostno število meritev. Imeti moramo več meritev kot je nujno potrebnih. Merjene količine (teh je n) kombiniramo z iskanimi količinami (teh je u). Razlika med njima nam da število nadštevilnih meritev r . V posredni izravnavi velja pravilo, da je število enačb popravkov enako številu opazovanj. V spodnji enačbi je prikazana oblika enačbe popravkov:

$$\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \mathbf{v} \quad (4.34)$$

Splošna enačba posredne izravnavne je podana z enačbo. To je sistem enačb popravkov zapisanih v matrični obliki:

$$\mathbf{v} + \mathbf{B}\mathbf{\Lambda} = \mathbf{f} \quad (4.35)$$

Da pridemo do vektorja \mathbf{v} , si pomagamo z enačbami posredne izravnave, kjer poiščemo optimalno rešitev po metodi najmanjših kvadratov popravkov meritev:

$$\begin{aligned} \mathbf{N} &= \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{B} \\ \mathbf{t} &= \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{f} \\ \mathbf{\Lambda} &= \mathbf{N}^{-1} \mathbf{t} \\ \mathbf{v} &= \mathbf{f} - \mathbf{B} \mathbf{\Lambda} \end{aligned} \quad (4.36)$$

kjer so vrednosti iz enačb (4.34, 4.35, 4.36):

- \mathbf{v} vektor popravkov
- $\mathbf{\Lambda}$ vektor neznank
- \mathbf{B} matrika številskih koeficientov neznank
- \mathbf{f} vektor odstopanj

Vse te izračune opravi program GemWin. Vhodni podatek v program je tudi utež za vsako opazovanje, mi smo zaradi enake natančnosti meritev privzeli vrednost 1. Če predpostavimo, da opazovanje je grobo pogrešeno, podatke o opazovanju kar izločimo zato, da ga ne bo program računal in izravnal z drugimi vrednostmi. Vsaka merjena dolžina ter notranja in zunanja opazovana smer vpliva na končno vrednost izravnanih koordinat.

Preden zaženemo program, ki nam izravna mrežo, pripravimo vhodno datoteko. Datoteka naj ima končnico *.pod. V datoteko podamo točke z danimi koordinatami in seznam približnih koordinat stojšč mreže. Sledi seznam opazovanj z utežmi. Vsaka vrstica predstavlja eno opazovanje.

4.5 Analiza natančnosti rezultatov

Po izravnavi podatke analiziramo. Pregledamo jih, če vsebujejo grobe pogreške, ki lahko poslabšajo kvaliteto izravnanih količin. Stohastični in funkcijski model, ki skupaj tvorita matematični model izravnave, mora dovolj kvalitetno prikazovati realno stanje.

Natančnost izravnanih koordinat točk je odvisna od vhodnih podatkov. Na natančnost iskanih novih količin vplivajo nešteti dejavniki. Oblika mreže, kakovost danih količin in sposobnost opazovalca večkrat pogojuje iskane rezultate.

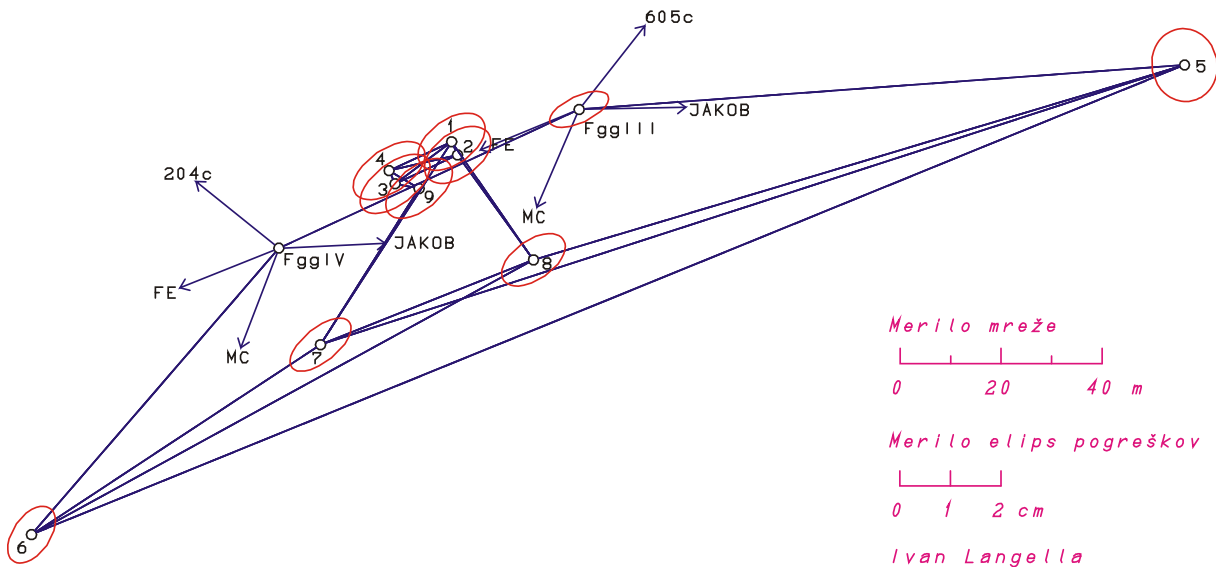
Pri projektiranju mreže v okolici Fakultete za gradbeništvo in geodezije smo preizkusili nekaj težav. Te so bile vremenske razmere in terenske danosti. Meritve so potekale v dopoldanskih urah. Temperatura se je med tem časom zelo spreminjala. Poleg tega, se stebri nahajajo v notranjosti stavbe, kjer je bila temperaturna razlika zelo velika in sicer celo do 5°C. Resen problem je predstavljalo sevanje asfalta. Ker so bila nekatera začasna stojišča na stativih postavljena na pločnikih ob cesti, sem opazil določene premike vezane na temperaturo asfalta. V jutranjih urah, pri postavljanju stativov, sem vsa stojišča skrbno horizontiral. Kasneje, ko sem iz teh stojišč meril, sem opazil, da niso več horizontalni. Največji premik sem opazil na stojišču 5, kjer sem moral opazovanja ponoviti.

Iskani stebri se nahajajo v učilnici 'Zimske vaje'. Pri projektiranju mreže sem imel težave z določenimi vizurami. Dolžini $D10$ in $D14$ sta potekali skozi steklo. Po nadaljnjih izračunih sem ugotovil, da čeprav sta ti dve vizuri potekali skozi steklo okna fakultete, niso poslabšali natančnosti mreže.

V preglednici (4.14) so prikazani rezultati izravnanih vrednosti koordinat in njihova analiza natančnosti, v prilogi (PRILOGA D) pa ves izpis izravnave.

Preglednica 4.14: Rezultati izravnave.

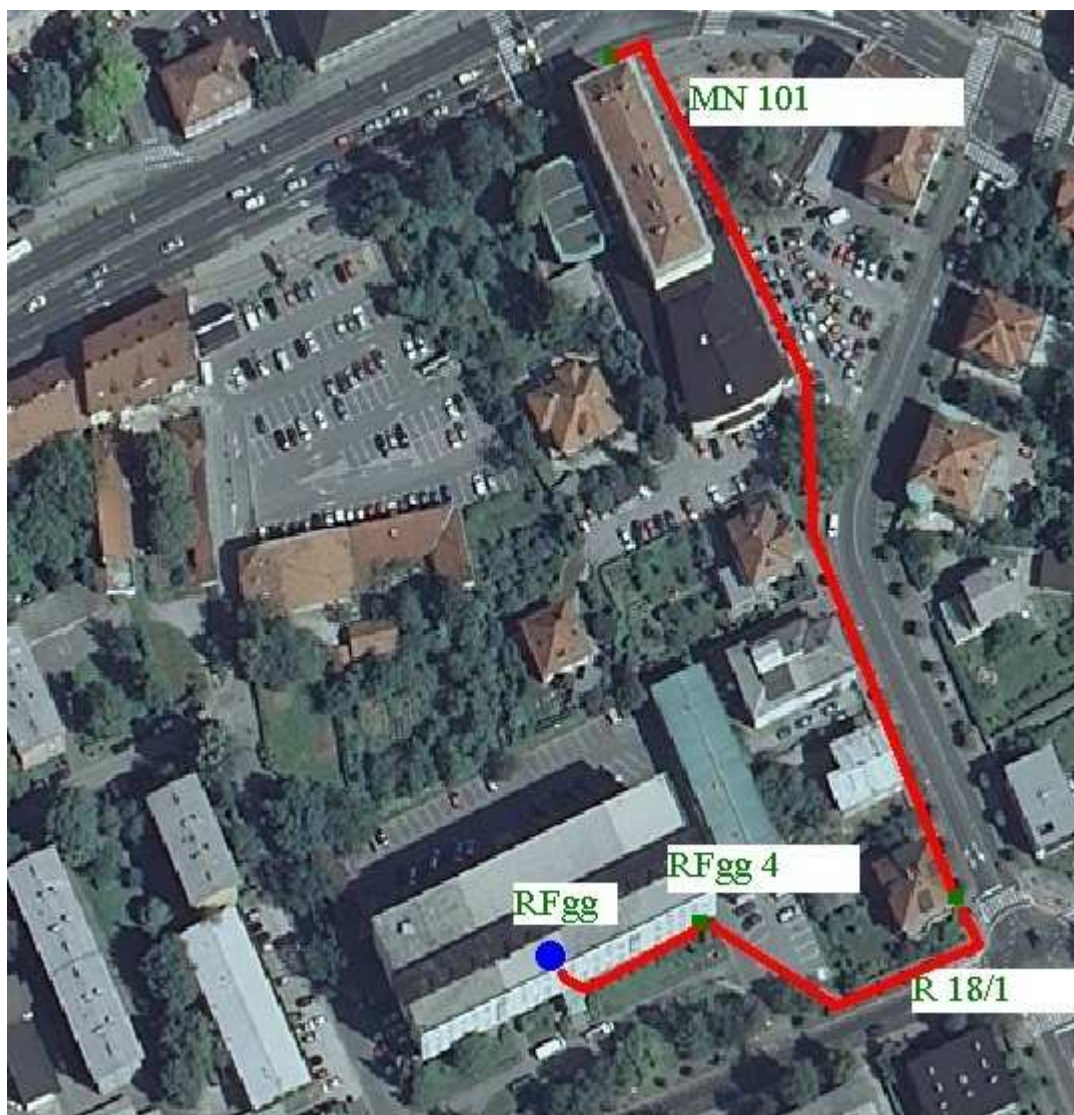
Točka	Y [m]	X [m]	M_y [m]	M_x [m]	M_p [m]	a [m]	b [m]	θ [°]
1	461293,457	100298,434	0,007	0,006	0,009	0,008	0,004	54
2	461294,666	100295,825	0,007	0,006	0,009	0,007	0,004	54
3	461282,266	100290,090	0,007	0,006	0,009	0,008	0,004	53
4	461281,079	100292,700	0,007	0,006	0,009	0,008	0,004	56



Slika 4.5: Ravninska mreža z orientacijami in elipsami natančnosti.

5 DOLOČITEV VIŠINE REPERJA R_{FGG}

V učilnici 'Zimske vaje' na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo je med stebroma 3 in 4 še steber, ki ima pritrjen medeninast čep. Vrh čepa je višinska točka. Višino tega čepa smo določili z geometričnim nivelmanom. Iz reperja visoke natančnosti (MN 101) na Tržaški cesti, smo potegnili nivelmanski vlak do učilnice tako, da smo se še navezali na dva reperja. Ta dva reperja sta R 18/1 na Groharjevi cesti in R_{FGG4} na jugovzhodnem vogalu Fakultete. Rezultate bomo primerjali z diplomsko nalogo *Določitev vplivnih količin za redukcijo odčitka živosrebrnega barometra Princo 496 NOVATM Economy model* (Mlinar, 2005).



Slika 5.1: Potek nivelmanskega vlaka in položaj reperjev (URL 1, 2012).

Celoten nivelmanski vlak smo nivelirali z nivelirjem *Leica DNA 03*. Najprej smo iz visokega reperja MN 101 na Tržaški cesti prenesli višino na čep, pritrjen v zemlji, nato smo nivelirali do reperja R_{Fgg} . Merili smo z metodo niveliranja iz sredine.

Prenos višine na čep pri visokem reperju MN 101 smo opravili na klasični način s preciznim mehanskim nivelirjem *Zeiss Koni NI007* in z merilcem in elektronskim nivelirjem *Leica DNA 03*. S tem nivelirjem smo nadaljevali niveliranje do reperja R_{Fgg} . Na koncu smo primerjali celoten nivelmanski vlak.

5.1 Opis instrumentarija

Merski instrumentarij in pribor, ki smo ga uporabljali pri niveliranju je:

- elektronski nivelir *Leica DNA 03* (koda instrumenta 331910),
- mehanski nivelir *Carl Zeiss Koni NI007* (koda instrumenta 513777),
- nivelmanska lata z kodirano razdelbo (koda late GPLC2 33819),
poročilo komparacije digitalne late je v prilogi (PRILOGA G),
- lata s polcentimetrovsko razdelbo *Carl Zeiss* (koda late 34445),
- merilce z kodirano razdelbo (koda merilca 6WCL60 0700),
- stativ,
- nivelmanska žaba.



Slika 5.2: Precizni nivelir *Carl Zeiss Koni NI007* in *Leica DNA 03* (URL 9, URL10, 2012).

Nivelmanske late so lahko lesene (stare late) ali pa kovinske oz. aluminijaste (novejše). Sestavljene so iz okvirja, ki je tudi nosilec. Novejše late imajo kodno razdelbo na invar traku, ki je na spodnji strani toga vpet. Na zgornji strani pa je pripet na vzmet. Tak sistem vpetja invar traku kompenzira vpliv spremembe temperature in s tem dolžine nosilca. Minimalna sprememba dolžine nosilca okvirja ali zvijanje ne vpliva na silo napenjanja in s tem na dolžino razdelbe, trak je napet s predpisano silo napenjanja.

Merilce s kodirano razdelbo uporabljamo pri visokih reperjih. Na hrbtni strani ima jeklen konus. Tega skrbno postavimo v luknjico visokega reperja. Ničla razdelbe je v tem primeru višja od luknjice reperja, zato ima merilce neko konstanto. Merilce, ki smo uporabili ima konstanto 0,01644 m.

Elektronski nivelir *Leica DNA 03* zajame sliko late. Nivelir avtomatsko obdela prebrane podatke in na ekran direktno izpiše odčitano višino. Podoben je klasičnemu mehanskemu nivelirju, saj ima optiko in mehaniko podobno kot kompenzacijski nivelir. Nivelir ima ekran in alfanumerično tipkovnico. Ima vgrajen kompenzator ter shranjuje podatke v interni pomnilnik. Poleg višinske razlike meri tudi razdaljo do late.

Nivelir *Carl Zeiss Koni NI007* je mehanski precizni nivelir. Še vedno je v uporabi, ker olajšuje delo pri odčitanju visokih reperjev, saj lahko horizontalno os znižamo oz. višamo, kar novejši nivelirji ne morejo. Nivelir ima mikrometer. Mikrometer je optična mehanska priprava, ki omogoča direktno čitanje dela osnovnega intervala razdelbe nivelmanske late. Z to napravo povečamo natančnost čitanja na lati.

5.2 Priprava podatkov

Reper R_{Fgg} se nahaja na betonskem stebru med stebroma 3 in 4. Na vrhu je vgrajen medeninast čep. V nalogi določamo nadmorsko višino vrha jeklenega čepa. Začeli smo na reperju MN 101. Na dva načina smo prenesli višino na čep R101 in sicer s klasičnim nivelirjem in z elektronskim nivelirjem.

5.2.1 Izračun višinskih razlik med reperji

Višinsko razliko med MN101 in R 101 je bilo potrebno izračunati. V spodnji preglednici prikazujemo rezultate odčitkov. Lata ima dve razdelbi, zato dobimo dve vrednosti. Njuna razlika med vrednosti mora sovpadati z vrednostjo 60650, kolikor je konstanta late.

Preglednica 5.1: Odčitki in izračun višinske razlike med MN 101 in R 101.

Vizura na reper		L_z	L_s			$L_z - L_s$	
Zadaj	Spredaj	Odčitek	Odčitek		Sredina	Odčitkov	ΔH
MN10	R101	7,5	Zg.	34322,8	-343323,5	-34316	-1,71580
			Sp.	94974,2			

Nadmorska višina reperja R 101 znaša torej:

$$H_{R101} = H_{MN101} + \Delta_{MN101}^{R101} = 298,0119 - 1,71580 =$$

$$= \mathbf{296,2961 \text{ m}}$$

Preglednica 5.2: Rezultati odčitkov na merilcu na reperju MN101 z upoštevanom konstanto merilca

Merilce	$\Delta h_{MN101}^{vizura}$ [m]
Dol	0,01533
Gor	0,01518
Gor	0,01512
Dol	0,01501
Dol	0,01512
Gor	0,01464
$\Sigma \frac{\Delta h_{MN101}^{vizura}}{6} =$	0,015067

Prenos višine smo ponovili z elektronskim nivelirjem. Pomagali smo si z merilcem. Skupno smo opravili šest odčitkov. Merilce moramo držati čimbolj vertikalno, kar pa brez libele ni ravno lahko. V vsakem primeru pa smo dobili dobre rezultate.

V preglednici 5.2 so prikazane prehodi višine vizure nivelirja pri izračunu višinske razlike med MN 101 in R101. Če smo imeli merilce obrnjeno navzdol, smo odčitku na merilcu odšteli konstanto ($k=0,01644$), če pa je bilo merilce obrnjeno navzgor, smo konstanto k prišteli odčitku.

Višino reperja R 101 smo torej dobili s spodnjim izračunom:

$$R101 = \frac{(MN101 - \Delta_{MN101}^{vizura} - l_z^1) + (MN101 - \Delta_{MN101}^{vizura} - l_z^2)}{2} =$$

$$= 296,2965 \text{ m}$$

Pred pripravo vhodne datoteke za program WinVim smo s programom Excel izračunali višinske razlike med vsemi reperji, ki so v nivelmanski zanki. Spisek rezultatov je v spodnji preglednici (5.3):

Preglednica 5.3:Odčitki in višinske razlike nivelmanske zanke

Na točko		Dolžina [m]		Lata zadaj: L_z	Lata spredaj: L_s	$L_z - L_s$
Zadaj	Spredaj	Zadaj	Spredaj	Odčitek [m]	Odčitek [m]	[m]
R 101	2	18,12671	18,59845	1,80116	1,58556	0,2156
2	3	17,83681	17,51446	1,44410	1,71110	-0,267
3	4	20,97617	20,49519	1,08191	1,71085	-0,62894
4	5	17,42998	17,20121	1,28796	1,73497	-0,44701
5	R18/1	16,9318	16,37358	1,28222	1,51479	-0,23257
R18/1	6	8,0279	8,3808	1,06534	1,47933	-0,41399
6	7	24,5521	24,0602	1,33727	1,20212	0,13515
7	RFgg4	4,8579	4,4526	1,37135	1,33205	0,03930
RFgg4	8	14,3446	12,7311	1,02624	1,44620	-0,41996
8	RFgg	6,7111	5,4239	1,38390	0,65788	0,72602
RFgg	9	5,3134	5,5989	0,65343	1,39160	-0,73817
9	RFgg4	13,9628	14,2639	1,41416	0,98204	0,43212
RFgg4	10	26,06370	25,3558	0,89924	1,11356	-0,21432
10	11	9,3067	8,8137	1,48228	1,39995	0,08233
11	R 18/1	3,9113	4,1978	1,49099	1,11930	0,37169
R18/1	12	16,37651	16,93625	1,51482	1,28221	0,23261
12	13	17,09448	17,55823	1,7188	1,27254	0,44626
13	14	20,45528	20,74087	1,67979	1,0565	0,62329
14	15	17,83754	17,21748	1,67313	1,38725	0,28588
15	R 101	19,24657	18,52411	1,47238	1,70038	-0,228

Preglednica 5.4: Višinska razlike med posameznimi reperji

Na reper		$\Delta H[m]$	Dolžina [m]
R 101	R 18/1	-1,35992	181,48
R 18/1	RFgg4	-0,23954	74,332
RFgg4	RFgg	0,30606	39,211
RFgg	RFgg4	-0,30605	39,139
RFgg4	R 18/1	0,23970	77,649
R 18/1	R 101	1,36004	181,987

5.2.2 Izračun višine reperja RFgg

Preden izračunamo in izravnamo mrežo, moramo na podlagi *Pravilnika o tehničnih normativih za mreže temeljnih geodetskih točk* izračunati dopustno odstopanje merjene višinske razlike. Dopustno odstopanje je odvisno od dolžine nivelmanske linije in se za nivelmansko zanko izračuna po enačbi:

$$\Delta_{dop} [mm] = \pm 2 \times \sqrt{d [km] + 0,04 \times d^2 [km]} = \quad (5.1)$$

$$= 1,56 \text{ mm}$$

Dobljeno odstopanje naših meritev je – 0,3 mm, kar je manj kot je dopustno odstopanje.

S pomočjo programa WinVim (ver. 5.1, dec.2007) je bila izvedena izravnavna nivelmanske mreže. Program uporablja posredno izravnavo po metodi najmanjših kvadratov. Pripravimo vhodno datoteko, v katero podamo višino danega reperja, približne višine novih reperjev ter izmerjene višinske razlike in dolžine med njimi. Merjene količine ali opazovanja so višinske razlike Δh in iskane količine ali neznanke so višine novih točk H . Podatke podamo v datoteko s končnico *.pod, program pa izhodne podatke in rezultate poda v datoteki s končnico *.rez. V prilogi (PRILOGA G) je podan izpis izravnavne.

5.3 Primerjava dobljenih rezultatov

Cilj niveliranja je bila določitev nadmorske višine čepa na stebru v učilnici 'Zimske vaje' na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Kot že omenjeno, je nivelmanski vlak potekal od reperja MN 101 na Tržaški cesti v Ljubljani do reperja RFgg. V nivelmanski vlak pa smo vključili še dva reperja R 18/1

in RFgg4. V preglednici 5.5 so podani rezultati izravnave in primerjava rezultatov z diplomsko nalogo Marka Mlinarja (Mlinar, 2005).

Preglednica 5.5: Primerjava rezultatov

Reper	Moji izračuni [m]	(Mlinar, 2005) [m]	Δh [mm]
R18/1	294,9365	294,9378	-1,3
RFgg4	294,6969	294,6982	-1,3

Opazimo, da je celoten sistem nižji za 1,3 milimetre.

Končni rezultat meritev je višina reperja R_{Fgg} :

$$R_{Fgg} = 295,0030 \text{ m}$$

Srednji pogrešek višine je 0,0001 m

6 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga je bila razdeljena na dve glavni področji geodezije in sicer na izmero ravninske in višinske mreže. Rezultat računanja so bile koordinate y in x štirih novih stebrov in višina medeninastega čepa petega stebra. Najprej sem opisal okolje mreže in kje se nahaja, pa katere vrste mrež poznamo. Navadno je kombinirana mreža tista mreža, ki jo v praksi uporabimo.

Meril sem torej kombinirano mrežo. Pri kombiniranih mrežah se pojavi problem atmosfere, saj ta vpliva na merjenje dolžin. V nalogi sem skrbno prikazal postopek redukcije in spreminjanje vrednosti dolžine skozi primer, da lahko boljše razumemo tovrstne vplive. Za pravilno redukcijo potrebujemo poleg tahimetra še barometer in termometer, da lahko merimo meteorološke podatke vzporedno z merjenjem dolžin. Postopek je nazadnje kar zamuden in v praksi zaupamo instrumentu, ker te redukcije že sam opravi. To pa storimo le v primeru, ko ne potrebujemo visoke natančnosti (kot primer so manjše izmere kot so geodetski načrti, obravnava meje, itd). Naj potrdim, da se v teh primerih natančnost vseeno giblje pod 3 centimetri.

Vse izračunane redukcije dolžin sem vnesel v posebno datoteko s končnico *.pod. Dobljeni rezultati so bili dobri in primerni za nadaljnjo uporabo pri vajah. Vrednosti elipse natančnosti so pod centimeter. Rezultati bi lahko bili boljši, a glede na čas meritev bi bila večja natančnost nemogoča. Meritve so potekale v neoptimalnih pogojih, razlika med temperaturo na začetku in koncu meritev je bila velika, kar je privedlo do raztezanja asfalta in premikov stativov.

Med obdelavo podatkov pri izravnavi sem ugotovil, da steklo skoraj nič ne vpliva na merjenje dolžin. Elektromagnetno valovanje, ki je potekalo skozi zaprta okna ni privedlo do razlik pri izravnavi, zato sem te meritve tudi upošteval.

V drugem delu naloge sem računal višino reperja R_{Fgg} . Iz reperja MN 101 na Tržaški cesti smo merili nivelmanski vlak tako, da smo povezali še dva reperja R_{Fgg4} in MN 18/1. Ta dva reperja sta nam bila za primerjavo in kontrolo. Primerjalne podatke sem vzel iz diplomske naloge Marka Mlinarja. Opazil sem, da so nivelirani reperji glede na reperje v Mlinarjevi nalogi nižji za 1,3 milimetra. Za precizni nivelman je ta vrednost kar velika. Izključujem možnosti napake, saj smo višino iz MN 101 na čep R 101 dvakrat pomerili. Razlogov za tako veliko razliko lahko pripišemo posedanju terena. Zanimivo dejstvo je to, da smo dobili zelo slične rezultate čepa R 101, čeprav smo merili z mehanskim preciznim nivelirjem *Carl Zeiss Koni NI007* in z elektronskim nivelirjem *Leica DNA 03* in pri tem uporabili merilce. Pričakoval sem večjo razliko med obema meritvama, saj vemo da odčitavanje visokega reperja z merilcem ni zelo natančno. Razlika je torej bila le tri desetinke milimetra.

Končni rezultati diplomske naloge so izravnane koordinate stebrov z njihovimi natančnostimi in izravnana višina čepa na stebru R_{Fgg} v učilnici 'Zimske vaje'.

VIRI

Breščak, M. 2006. Zasnova baze geodetskih točk. Geodetski vestnik 50, 2: 248 – 257.

Dolinar, K., Knop, S. et al. 1994. Leksikon. Ljubljana, Cankarjeva založba: 1216 str.

Kogoj, D., Vodopivec, F. 2003. Kompariranje in kalibriranje elektronskih razdaljemerov. Geodetski vestnik 47,1&2: 18 – 26.

Kogoj, D. 2005. Merjenje dolžin z elektronskimi razdaljemerji. Ljubljana. Univerza v Ljubljani. UL FGG, Oddelek za geodezijo: 159 str.

Kuhar, M. 2000. Geofizika. Študijski pripomoček. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, oddelek za geodezijo: 85 str.

Kolenc, M., 2008. Analiza klasično in z avtomatskim viziranjem izvedenih opazovanj na mreži večjih razsežnosti. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, oddelek za geodezijo: 83 str

Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. 2007. Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. Geodetski vestnik 51, 4: 777 – 792.

Koler Povh, T., Turk, G. 2011. Navodila za oblikovanje zaključnih izdelkov študijev na FGG in navajanje virov. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 39 str

Koželj, M. 2004. Teorija in praksa izmere premikov v površinski ugreznini nastali zaradi rudarjenja. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo: 135 str.

Mlinar, M. 2005. Določitev vplivnih količin za redukcijo odčitka živosrebrnega barometra Princo 469 NOVATM Economy model. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, oddelek za geodezijo: 151 str.

Mozetič, B., Stopar, B. 2008. Optimizacija opazovanj v geodeziji. Geodetski vestnik 52, 2: 313 – 328.

Pigato, C. 1998. Topografia e fotogrammetria, Secondo volume. Bologna, Casa editrice Poseidonia: 520 str.

Pigato, C. 1995. Topografia e fotogrammetria, Primo volume. Bologna, Casa editrice Poseidonia: 381 str.

Rejec, P. 2003. Izračun koordinat izbranih točk v jugozahodnem delu Ljubljane. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo: 141 str.

Slovar slovenskega knjižnega jezika. 1998. Izdala akademija znanosti in umetnosti in Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša. Ljubljana, DZS: 1714 str.

Vodopivec, F., Kogoj, D. 2005. Nov način precizne stabilizacije točk za opazovanje premikov. Geodetski vestnik 49, 1: 9-17.

SPLETNI NASLOVI

URL 1: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
(pridobljeno 15. 2. 2012)

URL 2: <http://it.wikipedia.org/wiki/Aria> (pridobljeno 16. 10. 2011)

URL 3: <http://it.wikipedia.org/wiki/Troposfera> (pridobljeno 16. 10. 2011)

URL 4: http://en.wikipedia.org/wiki/Clausius%E2%80%93Clapeyron_relation (pridobljeno 16. 10. 2011)

URL 5: <http://www.vivoscuola.it/us/rsigpp3202/umidita/lezioni/equazioniaturato.htm> (pridobljeno 20.10.2011)

URL 6: <http://www.fgg.uni-lj.si/~mkuhar/Pouk/Gradb/Niveliranje/Niveliranje.html> (pridobljeno 15.2.2012)

URL 7: http://www.surveyequipment.com/PDFs/Leica_FlexLine_UserManual.pdf (pridobljeno 21.11.2011)

URL 8: http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Lisec_et_al.pdf (pridobljeno 29.11.2011)

URL 9: <http://www.dehilster.info/index.php?doc=http://www.dehilster.info/instrumenten/level10/index.html> (pridobljeno 14.3.2012)

URL 10: http://www.ivd-schwerin.de/Englisch/hardware-kurz_e.htm (pridobljeno 14.3.2012)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: OPAZOVANJA

PRILOGA B: REDUKCIJA DOLŽIN

PRILOGA C: VHODNA DATOTEKA GEM

PRILOGA D: IZHODNA DATOTEKA GEM Z REZULTATI IZRAVNAVE

PRILOGA E: SKICA MREŽE

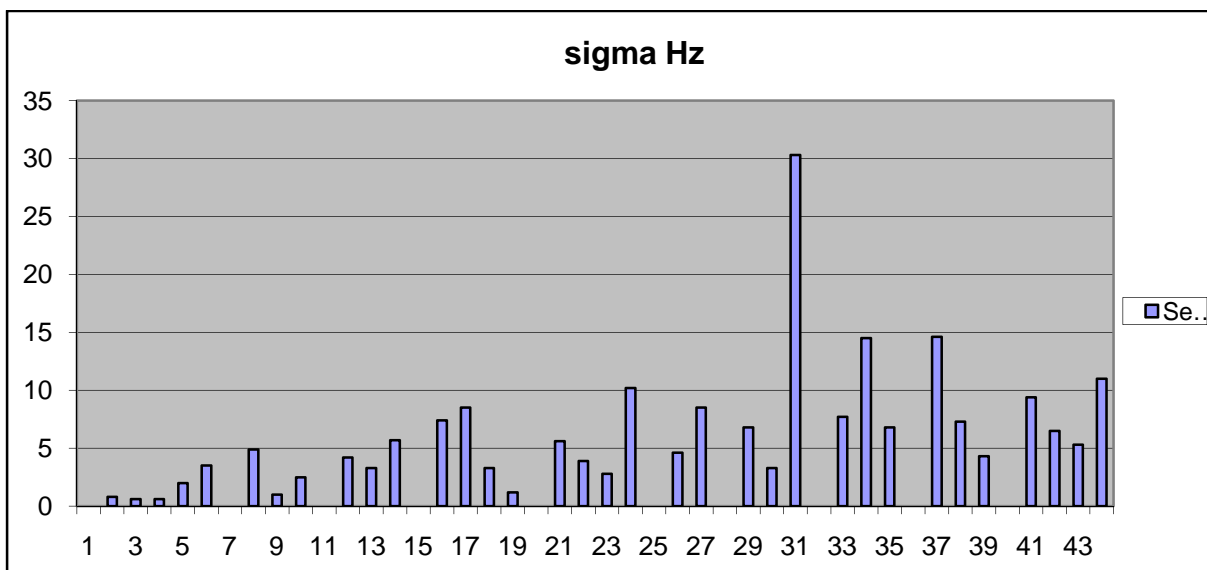
PRILOGA F: IZPIS REZULTATOV IZ WINVIM

PRILOGA G: POROČILO O KALIBRACIJI

PRILOGA A: OPAZOVANJA IN NATANČNOSTI OPAZOVANJ

Stojišče	Vizura	Dolžina		Zemljna razdalja	
		[m]	[°]	[']	["]
FggIII	JAKOB	0	87	56	16,8
FggIII	MC	0	90	27	14,7
FggIII	FggIV	65,3106	89	59	14
FggIII	FE	0	87	14	31,2
FggIII	605c	0	87	55	36,3
FggIII	5	122,5482	101	52	43,3
FggIV	JAKOB	0	88	3	47,3
FggIV	MC	0	90	28	10,2
FggIV	6	79,2951	109	23	7,3
FggIV	FE	0	86	37	0,5
FggIV	204C	0	86	28	22,8
FggIV	FggIII	65,311	90	0	44,3
5	FggIII	122,5482	78	7	15
5	6	245,9521	90	15	4,2
5	7	179,3692	90	14	58,2
5	8	134,2302	90	12	43
6	5	245,9519	89	45	3,8
6	fggIV	79,2946	70	37	7,2
6	7	68,3566	89	45	16,8
6	8	113,072	89	42	23
7	5	179,3692	89	45	8,7
7	6	68,3565	90	14	46,8
7	9	36,4953	89	14	38,5
7	1	47,7139	89	39	37
7	8	45,2697	89	38	22
8	5	134,2308	89	47	20,5
8	6	113,0726	90	17	38,2
8	7	45,2706	90	21	34,8
8	2	25,5894	89	58	28,8
8	1	28,4095	90	0	6
9	7	36,4958	90	45	26,7
9	3	4,8632	92	21	58,7
9	4	6,9118	91	45	17
3	1	13,9197	89	59	43,3
3	2	13,6242	89	56	18,2
3	9	4,8637	87	37	37
3	4	2,859	90	13	10,3
2	8	25,5892	90	1	33,3
2	3	13,6239	90	3	34,8
2	4	13,9031	90	6	18,3
2	1	2,8677	90	16	6
4	2	13,9035	89	53	50,3
4	9	6,9126	88	14	38,8
4	3	2,8592	89	46	31
4	1	13,6035	89	57	5,8
1	7	47,7145	90	20	8
1	3	13,9192	90	0	8,3
1	4	13,6029	90	2	55,8
1	8	28,4093	89	59	41,5
1	2	2,8676	89	43	45,3

Horizont alna smer					
[°]	[´]	[˝]	σd [m]	σz [˝]	σHz [˝]
0	0	0	0	0	0
114	20	20	0	0	6,1
156	15	16,7	0,0002	5,3	3,8
158	41	32,5	0	0	3,9
309	11	27,5	0	0	2,6
356	53	22	0,0004	1,3	3,5
0	0	0	0	0	0
113	37	8,2	0	0	0,8
133	24	25,2	0,0003	5,3	0,6
160	44	46,8	0	0	0,6
221	24	15,7	0	0	2
337	45	44,3	0,0002	4,6	3,5
0	0	0	0,0004	1,3	0
342	1	26,5	0,0002	7,1	4,9
346	14	45,5	0,0003	1,5	1
347	31	27,8	0,0002	1,7	2,5
0	0	0	0,0003	2	0
332	59	6,8	0,0003	2,9	4,2
348	51	37,7	0,0002	2,9	3,3
353	28	0,8	0,0002	3,5	5,7
0	0	0	0,0003	2,8	0
164	38	10	0,0001	2	7,4
320	9	44,7	0,0002	3,6	8,5
320	45	5,2	0,0002	9,5	3,3
356	12	33,2	0,0001	0,9	1,2
0	0	0	0,0002	6,1	0
167	57	54,7	0,0002	0,6	5,6
174	55	53,5	0,0002	3,2	3,9
250	47	11,8	0,0002	0,3	2,8
251	53	22,8	0,0001	4	10,2
0	0	0	0,0003	3,9	0
68	29	42,5	0,0001	7,4	4,6
88	17	5,8	0,0001	4,1	8,5
0	0	0	0,0001	5,2	0
11	53	25,8	0,0001	2,1	6,8
47	25	19,3	0,0001	1,3	3,3
282	14	51,3	0,0001	6	30,3
0	0	0	0,0001	3,2	0
101	3	33,8	0,0002	3	7,7
112	55	33,2	0,0001	8,4	14,5
191	0	29,3	0,0001	16,5	6,8
0	0	0	0	7,3	0
43	28	17,3	0,0001	1	14,6
78	30	18,2	0,0001	11,8	7,3
348	5	47,7	0,0001	6,3	4,3
0	0	0	0,0003	4	0
20	29	5,5	0,0001	7	9,4
32	20	10,3	0,0001	7	6,5
292	24	48,3	0,0002	4,8	5,3
302	19	16,7	0,0001	10,2	11



PRILOGA B: REDUKCIJA DOLŽIN

Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T	R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 1	km1	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
				D _{mer} =	[m]	[°]	[']	["]	[°]	[']	["]	[t]	[%]	[p]															
St. FggIII		Fgg IV	0,00	D1 _{mer} a =	65,3106	89	59	14	156	15	17	34,0	29,9	973,2	48,0721	14,518	0,00029926	1,00025538	1,00003091	65,3106	65,3126	65,3126	65,3126	65,3131	65,3131	65,3131	65,3098	S1a =	65,3098
	0,2392	5	0,00	D2 _{mer} a =	122,5482	101	52	43	356	53	22	33,2	30,5	972,9						122,5482	122,5520	122,5520	122,5520	122,5030	122,5030	119,8799	119,8740	S2a =	119,8740
												33,6	30,2	973,1															
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T	R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 2	km2	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
St. FggIV		6	0,00	D3 _{mer} a =	79,2951	109	23	7	133	24	25	28,5	43,5	973,1	27,9608	12,107	0,00029926	1,00025993	1,00002636	79,2951	79,2972	79,2972	79,2972	79,2192	79,2192	74,7282	74,7245	S3a =	74,7245
	0,2360	FggIIII	0,00	D1 _{mer} b =	65,3110	90	0	44	337	45	44	28,2	43,1	973,1						65,3110	65,3127	65,3127	65,3127	65,3131	65,3131	65,3131	65,3098	S1b =	65,3098
												28,4	43,3	973,1															
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T	R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
St. 5	0,0000	FggIIII	0,00	D2 _{mer} b =	122,548	78	7	15	0	0	0	31,1	36,4	975,9	38,8003	13,522	0,00029926	1,00025795	1,00002835	122,5482	122,5517	122,5517	122,5517	122,5517	122,5517	119,9269	119,9211	S2b =	119,9211
		6	0,00	D4 _{mer} a =	245,952	90	15	4	342	1	27	31,9	33,3	976,0						245,9521	245,9591	245,9591	245,9591	245,9591	245,9591	245,9567	245,9453	S4a =	245,9453
		7	0,00	D5 _{mer} a =	179,369	90	14	58	346	14	46	31,5	34,9	976,0						179,3692	179,3743	179,3743	179,3743	179,3743	179,3743	179,3726	179,3643	S5a =	179,3643
		8	0,00	D6 _{mer} a =	134,23	90	12	43	347	31	28									134,2302	134,2340	134,2340	134,2340	134,2340	134,2340	134,2331	134,2269	S6a =	134,2269
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T	R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
St. 6	0,0000	5	0,00	D4 _{mer} b =	245,9519	89	45	4	0	0	0	33,2	36,6	976,0	42,5492	16,041	0,00029926	1,00025711	1,00002918	245,9519	245,9591	245,9591	245,9591	245,9591	245,9591	245,9567	245,9453	S4b =	245,9453
		FggIV	0,00	D3 _{mer} b =	79,2946	70	37	7	332	59	7	31,6	38,8	976,0						79,2946	79,2969	79,2969	79,2969	79,2969	79,2969	74,8031	74,7995	S3b =	74,7995
		7	0,00	D7 _{mer} a =	68,3566	89	45	17	348	51	38	32,4	37,7	976,0						68,3566	68,3586	68,3586	68,3586	68,3586	68,3586	68,3580	68,3548	S7a =	68,3548
		8	0,00	D8 _{mer} a =	113,0720	89	42	23	353	28	1									113,0720	113,0753	113,0753	113,0753	113,0753	113,0753	113,0738	113,0686	S8a =	113,0686
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T	R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
St. 7	0,0000	5	0,00	D5 _{mer} b =	179,3692	89	45	9	0	0	0	33,6	34,2	975,9	48,3160	15,799	0,00029926	1,00025606	1,00003024	179,3692	179,3746	179,3746	179,3746	179,3746	179,3746	179,3729	179,3646	S5b =	179,3646
		6	0,00	D7 _{mer} b =	68,3565	90	14	47	164	38	10	33,7	31,2	976,0						68,3565	68,3586	68,3586	68,3586	68,3586	68,3586	68,3579	68,3548	S7b =	68,3548
		9	0,00	D9 _{mer} a =	36,4953	89	14	39	320	9	45	33,7	32,7	976,0						36,4953	36,4964	36,4964	36,4964	36,4964	36,4964	36,4932	36,4915	S9a =	36,4915
		1	0,00	D10 _{mer} a	47,7139	89	39	37	320	45	5									47,7139	47,7153	47,7153	47,7153	47,7153	47,7153	47,7145	47,7123	S10a =	47,7123
		8	0,00	D11 _{mer} a	45,2697	89	38	22	356	12	33									45,2697	45,2711	45,2711	45,2711	45,2711	45,2711	45,2702	45,2681	S11a =	45,2681
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T	R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
St. 8	0,0000	5	0,00	D6 _{mer} b =	134,2308	89	47	21	0	0	0	33,3	31,5	975,9	46,8693	14,623	0,00029926	1,00025634	1,00002996	134,2308	134,2348	134,2348	134,2348	134,2348	134,2348	134,2339	134,2277	S6b =	134,2277
		6	0,00	D8 _{mer} b =	113,0726	90	17	38	167	57	55	33,4	30,9	975,9						113,0726	113,0760	113,0760	113,0760	113,0760	113,0760	113,0745	113,0693	S8b =	113,0693
																			45,2706	45,2720	45,2720	45,2720	45,2720	45,2720	45,2720	45,2711	45,2690	S11b =	45,2690
		7	0,00	D11 _{mer} b =	45,2706	90	21	35	174	55	54	33,4	31,2	975,9															
		2	0,00	D12 _{mer} a =	25,5894	89	58	29	250	47	12									25,5894	25,5902	25,5902	25,5902	25,5902	25,5902	25,5902	25,5890	S12a =	25,5890
		1	0,00	D13 _{mer} a =	28,4095	90	0	6	251	53	23									28,4095	28,4104	28,4104	28,4104	28,4104	28,4104	28,4104	28,4090	S13a =	28,4090

Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T		R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
				D _{mer} =	[m]	[°]	[']	["]	[°]	[']	["]	[t]	[%]																[p]	S _{9b} =
St. 9	0,0000	7	0,00	D9 _{mer} b =	36,4958	90	45	27	0	0	0	33,5	28,8	975,6	51,5940	14,653	0,00029926	1,00025546	1,00003083	36,4958	36,4969	36,4969	36,4969	36,4969	36,4969	36,4937	36,4920	S9b =	36,4920	
		3	0,00	D14 _{mer} a =	4,8632	92	21	59	68	29	43	35,1	28,0	975,6						4,8632	4,8633	4,8633	4,8633	4,8633	4,8633	4,8592	4,8590	S14a =	4,8590	
		4	0,00	D15 _{mer} a =	6,9118	91	45	17	88	17	6	34,3	28,4	975,6						6,9118	6,9120	6,9120	6,9120	6,9120	6,9120	6,9088	6,9085	S15a =	6,9085	
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T		R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
D _{mer} =	[m]	[°]	[']	["]	[°]	[']	["]	[t]	[%]	[p]	S _{9b} =	S _{14a} =																		
St. 3	0,2415	1	0,00	D16 _{mer} a =	13,9197	89	59	43	0	0	0	31,0	38,2	975,5	34,1009	13,589	0,00029926	1,00025889	1,00002741	13,9197	13,9201	13,9201	13,9201	13,9201	13,9222	13,9222	13,9222	13,9215	S16a =	13,9215
		2	0,00	D17 _{mer} a =	13,6242	89	56	18	11	53	26	29,5	41,5	975,5						13,6242	13,6246	13,6246	13,6246	13,6270	13,6270	13,6270	13,6263	S17a =	13,6263	
		9	0,00	D14 _{mer} b =	4,8637	87	37	37	47	25	19	30,3	39,9	975,5						4,8637	4,8638	4,8638	4,8638	4,8798	4,8798	4,8756	4,8754	S14b =	4,8754	
		4	0,00	D18 _{mer} a =	2,8590	90	13	10	282	14	51									2,8590	2,8591	2,8591	2,8591	2,8684	2,8684	2,8683	2,8682	S18a =	2,8682	
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T		R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
D _{mer} =	[m]	[°]	[']	["]	[°]	[']	["]	[t]	[%]	[p]	S _{9b} =	S _{14a} =																		
St. 2	0,2418	8	0,00	D12 _{mer} B =	25,5892	90	1	33	0	0	0	28,9	41,9	975,4	28,8564	12,394	0,00029926	1,00026023	1,00002606	25,5892	25,5899	25,5899	25,5899	25,5899	25,5909	25,5909	25,5909	25,5897	S12b =	25,5897
		3	0,00	D17 _{mer} b =	13,6239	90	3	35	101	3	34	28,4	44,0	975,4						13,6239	13,6243	13,6243	13,6243	13,6261	13,6261	13,6261	13,6255	S17b =	13,6255	
		4	0,00	D19 _{mer} a =	13,9031	90	6	18	112	55	33	28,7	43,0	975,4						13,9031	13,9035	13,9035	13,9035	13,9051	13,9051	13,9051	13,9045	S19a =	13,9045	
		1	0,00	D20 _{mer} a =	2,8677	90	16	6	191	0	29									2,8677	2,8678	2,8678	2,8678	2,8768	2,8768	2,8768	2,8767	S20a =	2,8767	
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T		R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
D _{mer} =	[m]	[°]	[']	["]	[°]	[']	["]	[t]	[%]	[p]	S _{9b} =	S _{14a} =																		
St. 4	0,2415	2	0,00	D19 _{mer} b =	13,9035	89	53	50	0	0	0	28,4	44,4	975,3	28,1082	12,255	0,00029926	1,00026047	1,00002582	13,9035	13,9039	13,9039	13,9039	13,9039	13,9064	13,9064	13,9064	13,9057	S19b =	13,9057
		9	0,00	D15 _{mer} b =	6,9126	88	14	39	43	28	17	28,4	42,8	975,3						6,9126	6,9128	6,9128	6,9128	6,9244	6,9244	6,9211	6,9208	S15b =	6,9208	
		3	0,00	D18 _{mer} b =	2,8592	89	46	31	78	30	18	28,4	43,6	975,3						2,8592	2,8593	2,8593	2,8593	2,8704	2,8704	2,8704	2,8703	S18b =	2,8703	
		1	0,00	D21 _{mer} a =	13,6035	89	57	6	348	5	48									13,6035	13,6039	13,6039	13,6039	13,6062	13,6062	13,6062	13,6056	S21a =	13,6056	
Stojišče	i =	Vizura	l =	Dolžina		Zenitna razdalja			Hz smer			T		R.v.	Pritisk	Em =	e =	(n _G - 1) =	n _D 3	km3	D'	D _{met}	D _{h2} Drugi popravek hitrosti	S _r	S _p	S _k Kamen-Kamen	S _m Horizontiranje	S ₀ Redukcija na ničelni nivo	S	
0,0000	[m]	[°]	[']	["]	[°]	[']	["]	[t]	[%]	[p]	S _{9b} =	S _{14a} =																		
St. 1	0,2333	7	0,00	D10 _{mer} b =	47,7145	90	20	8	0	0	0	28,5	42,9	975,2	28,4053	12,427	0,00029926	1,00026034	1,00002595	47,7145	47,7157	47,7157	47,7157	47,7157	47,7149	47,7149	47,7141	47,7119	S10b =	47,7119
		3	0,00	D16 _{mer} b =	13,9192	90	0	8	20	29	6	28,5	44,6	975,1						13,9192	13,9196	13,9196	13,9196	13,9215	13,9215	13,9215	13,9209	S16b =	13,9209	
		4	0,00	D21 _{mer} b =	13,6029	90	2	56	32	20	10	28,5	43,8	975,2						13,6029	13,6033	13,6033	13,6033	13,6051	13,6051	13,6050	13,6044	S21b =	13,6044	
		8	0,00	D13 _{mer} b =	28,4093	89	59	42	292	24	48									28,4093	28,4100	28,4100	28,4100	28,4110	28,4110	28,4110	28,4097	S13b =	28,4097	
		2	0,00	D20 _{mer} b =	2,8676	89	43	45	302	19	17									2,8676	2,8677	2,8677	2,8677	2,8677	2,8783	2,8783	2,8782	2,8781	S20b =	2,8781

PRILOGA C: VHODNA DATOTEKA GEM

*D

'605c'	461958.90	101121.14
'204c'	459937.19	101340.75
'JAKOB'	462256.734	100322.455
'MC'	460856.543	99229.802
'FE'	460989.779	100169.317
'FggIV'	461259.277	100277.345

*N

'FggIII'	461318.700	100304.836
'5'	461438.578	100313.612
'6'	461210.285	100220.623
'7'	461267.506	100258.223
'8'	461309.663	100275.028
'9'	461287.012	100289.172
'2'	461294.629	100295.815
'1'	461293.420	100298.423
'3'	461282.218	100290.079
'4'	461281.040	100292.691

*O

1	'FggIV'	'JAKOB'	0	0	0.000	1	1		
1	'FggIV'	'MC'	113	37	8.200	1	1		
3	'FggIV'	'6'	133	24	25.200	1	74.9500	1	1
1	'FggIV'	'FE'	160	44	46.800	1	1		
1	'FggIV'	'204c'	221	24	15.700	1	1		
3	'FggIV'	'FggIII'	337	45	44.300	1	65.4741	1	1
1	'FggIII'	'JAKOB'	0	0	0.000	1	1		
1	'FggIII'	'MC'	114	20	20.000	1	1		
3	'FggIII'	'FggIV'	156	15	16.700	1	65.4741	1	1
1	'FggIII'	'FE'	158	41	32.500	1	1		
1	'FggIII'	'605c'	309	11	27.500	1	1		
3	'FggIII'	'5'	356	53	22.000	1	120.1992	1	1
3	'5'	'FggIII'	0	0	0.000	1	120.1992	1	1
3	'5'	'6'	342	1	26.500	1	246.5640	1	1
3	'5'	'7'	346	14	45.500	1	179.8157	1	1
3	'5'	'8'	347	31	27.800	1	134.5650	1	1
3	'6'	'5'	0	0	0.000	1	246.5640	1	1
3	'6'	'FggIV'	332	59	6.800	1	74.9500	1	1
3	'6'	'7'	348	51	37.700	1	68.5267	1	1
3	'6'	'8'	353	28	0.800	1	113.3533	1	1
3	'7'	'5'	0	0	0.000	1	179.8157	1	1
3	'7'	'6'	164	38	10.000	1	68.5267	1	1
3	'7'	'9'	320	9	44.700	1	36.5836	1	1
3	'7'	'1'	320	45	5.200	1	47.8321	1	1
3	'7'	'8'	356	12	33.200	1	45.3824	1	1
3	'8'	'5'	0	0	0.000	1	134.5650	1	1
3	'8'	'6'	167	57	54.700	1	113.3533	1	1
3	'8'	'7'	174	55	53.500	1	45.3824	1	1
3	'8'	'2'	250	47	11.800	1	25.6537	1	1
3	'8'	'1'	251	53	22.800	1	28.4808	1	1
3	'9'	'7'	0	0	0.000	1	36.5836	1	1
3	'9'	'3'	68	29	42.500	1	4.8794	1	1
3	'9'	'4'	88	17	5.800	1	6.9320	1	1
3	'3'	'1'	0	0	0.000	1	13.9562	1	1

3	'3'	'2'	11	53	25.800	1	13.6602	1	1
3	'3'	'9'	47	25	19.300	1	4.8794	1	1
3	'3'	'4'	282	14	51.300	1	2.8764	1	1
3	'2'	'8'	0	0	0.000	1	25.6537	1	1
3	'2'	'3'	101	3	33.800	1	13.6602	1	1
3	'2'	'4'	112	55	33.200	1	13.9401	1	1
3	'2'	'1'	191	0	29.300	1	2.8846	1	1
3	'4'	'2'	0	0	0.000	1	13.9401	1	1
3	'4'	'9'	43	28	17.300	1	6.9320	1	1
3	'4'	'3'	78	30	18.200	1	2.8764	1	1
3	'4'	'1'	348	5	47.700	1	13.6392	1	1
3	'1'	'7'	0	0	0.000	1	47.8321	1	1
3	'1'	'3'	20	29	5.500	1	13.9562	1	1
3	'1'	'4'	32	20	10.300	1	13.6392	1	1
3	'1'	'8'	292	24	48.300	1	28.4808	1	1
3	'1'	'2'	302	19	16.700	1	2.8846	1	1

*PS

8

*PD

0.008

*K

PRILOGA D: IZHODNA DATOTEKA GEM Z REZULTATI IZRAVNAVE

Izravnavna ravninske GEodetske Mreže

Program: GEM3, ver.3.2, avg. 97

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: mreza3.pod
Ime datoteke za rezultate: mreza3.gem
Ime datoteke za S-transformacijo: mreza3.str
Ime datoteke za risanje slike mreže: mreza3.ris
Ime datoteke za izraèun premikov: mreza3.koo
Ime datoteke za izpis kovarianène matrike: mreza3.S11
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Hannover): mreza3.dah
Ime datoteke za ProTra: mreza3.ptr
Ime datoteke za deformacijsko analizo (Ašanin): mreza3.daa

Datum: 23-NOV-11

Èas: 12:12:45

Seznam koordinat DANIH toèk

=====

Toèka	Y (m)	X (m)
605c	461958.9000	101121.1400
204c	459937.1900	101340.7500
JAKOB	462256.7340	100322.4550
MC	460856.5430	99229.8020
FE	460989.7790	100169.3170
FggIV	461259.2770	100277.3450

Vseh toèk je 6.

Seznam PRIBLIŽNIH koordinat novih toèk

=====

Toèka	Y (m)	X (m)
FggIII	461318.7000	100304.8360
5	461438.5780	100313.6120
6	461210.2850	100220.6230
7	461267.5060	100258.2230
8	461309.6630	100275.0280
9	461287.0120	100289.1720
2	461294.6290	100295.8150
1	461293.4200	100298.4230
3	461282.2180	100290.0790
4	461281.0400	100292.6910

Vseh toèk je 10.

Podan srednji pogrešek utežne enote smeri (a-priori ocena): 5.00 sekund.

Podan srednji pogrešek utežne enote dolžin (a-priori ocena): 5.000 mm.

Število enaèb popravkov je	92.
- Število enaèb popravkov za smeri je	50.
- Število enaèb popravkov za dolžine je	42.
Število neznank je	31.
- Število koordinatnih neznank je	20.
- Število orientacijskih neznank je	11.

Število nadštevilnih opazovanj je 61.

POPRAVKI približnih vrednosti
=====

Izravnavo je izračunana klasično z normalnimi enačbami.

Točka	Dy (m)	Dx (m)	Do (")
FggIII	0.014	0.007	-2.9
5	0.029	0.018	-11.5
6	-0.012	-0.012	0.3
7	0.033	0.013	1.8
8	0.037	0.014	-6.5
9	0.030	0.014	-1.7
2	0.037	0.010	-22.5
1	0.037	0.011	-26.3
3	0.048	0.011	-196.2
4	0.039	0.009	-180.8
FggIV			0.4

IZRAVNANE vrednosti koordinat in ANALIZA natančnosti
=====

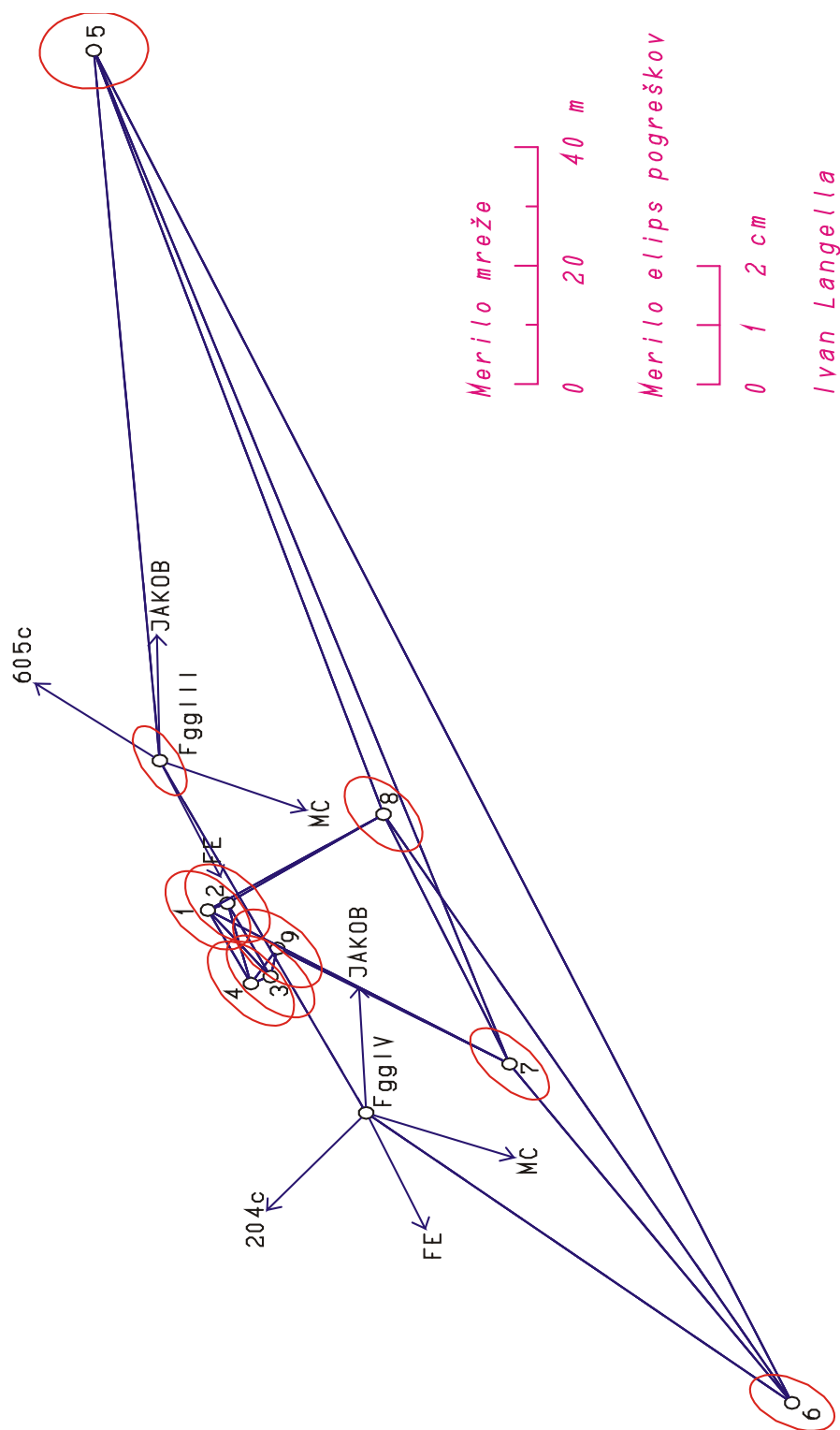
Točka	Y (m)	X (m)	My (m)	Mx (m)	Mp (m)	a (m)	b (m)	Theta (st.)
FggIII	461318.714	100304.843	0.006	0.004	0.007	0.006	0.003	65.
5	461438.607	100313.630	0.007	0.007	0.010	0.007	0.006	169.
6	461210.273	100220.611	0.005	0.006	0.007	0.006	0.004	35.
7	461267.539	100258.236	0.006	0.005	0.008	0.007	0.003	51.
8	461309.700	100275.042	0.006	0.005	0.008	0.007	0.004	55.
9	461287.042	100289.186	0.007	0.006	0.009	0.008	0.004	51.
2	461294.666	100295.825	0.007	0.006	0.009	0.007	0.004	54.
1	461293.457	100298.434	0.007	0.006	0.009	0.008	0.004	54.
3	461282.266	100290.090	0.007	0.006	0.009	0.008	0.004	53.
4	461281.079	100292.700	0.007	0.006	0.009	0.008	0.004	56.

Srednji pogrešek utežne enote /m0/ je 2.15450.
[pvv] = 283.1533811963
[xx] vseh neznank = 72547.3360238390
[xx] samo koordinatnih neznank = 0.0126605019
Srednji pogrešek aritmetične sredine /m_arit/ je 0.00166.

Srednji pogrešek smeri /m0*m0_smeri/ je 10.7725 sekund.
Srednji pogrešek dolžin /m0*m0_dol`in/ je 0.011 metrov.

Največji položajni pogrešek /Mp_max/ je 0.010 metrov.
Najmanjši položajni pogrešek /Mp_min/ je 0.007 metrov.
Srednji položajni pogrešek /Mp_sred/ je 0.008 metrov.

PRILOGA E: SKICA MREŽE



PRILOGA F: IZPIS REZULTATOV IZ WINVIM

Izravnava VIŠINSKE geodetske Mreže

Program: VIM, ver.5.0, mar. 07

Copyright (C) Tomaž Ambrožič & Goran Turk

Ime datoteke s podatki: vis.pod

Ime datoteke za rezultate: vis.rez

Ime datoteke za deformacijsko analizo: vis.def

Ime datoteke za S-transformacijo: vis.str

Ime datoteke za izračun ocene natančnosti premika: vis.koo

Datum: 17. 3.2012

Čas: 8:48: 2

NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

=====

Reper	Nadm.viš.	Opomba
R101	296.2965	Dani reper
R18/1	294.9000	Novi reper
RFgg4	294.0000	Novi reper
RFgg	295.0000	Novi reper

Število vseh reperjev = 4

Število danih reperjev = 1

Število novih reperjev = 3

MERITVE VIŠINSKIH RAZLIK IN DOLŽIN

=====

Reper zadaj	Reper spredaj	Merjena viš.razlika	Merjena dolžina
R101	R18/1	-1.3599	0.1815
R18/1	RFgg4	-0.2395	0.0743
RFgg4	RFgg	0.3061	0.0392
RFgg	RFgg4	-0.3060	0.0391
RFgg4	R18/1	0.2397	0.0776
R18/1	R101	1.3600	0.1820

Število opazovanj = 6

Vektor normalnih enačb je zaseden 0.00 %.

ENAČBE POPRAVKOV VIŠINSKIH RAZLIK

=====

Št. Reper op. zadaj	Reper spredaj	Koeficienti			Utež
		a1	a2	f	
1 R101	R18/1	0.	-1.	0.0366	5.5096
2 R18/1	RFgg4	1.	-1.	0.6605	13.4590
3 RFgg4	RFgg	-1.	1.	0.6939	25.5102
4 RFgg	RFgg4	1.	-1.	0.6940	25.5754
5 RFgg4	R18/1	-1.	1.	0.6603	12.8866
6 R18/1	R101	-1.	0.	0.0365	5.4945

IZRAČUNANI POPRAVKI VIŠINSKIH RAZLIK

=====				
Št. Reper	Reper	Merjena	Popravek	Definitivna
op. zadaj	spredaj	viš.razlika	viš.razlike	viš.razlika
1 R101	R18/1	-1.3599	-0.0001	-1.3600
2 R18/1	RFgg4	-0.2395	-0.0001	-0.2396
3 RFgg4	RFgg	0.3061	0.0000	0.3061
4 RFgg	RFgg4	-0.3060	0.0000	-0.3061
5 RFgg4	R18/1	0.2397	-0.0001	0.2396
6 R18/1	R101	1.3600	-0.0001	1.3600

Srednji pogrešek utežne enote, $m_0 = 0.00026$

Izračunano odstopanje = -0.3 mm ($s = 0.594 \text{ km}$).

Dopustni odstopanji v sklenjeni niv. zanki:

- mreža NVM $f = \pm 1 \cdot \sqrt{s+0.04 \cdot s^2} = 0.8 \text{ mm}$
- mestna niv. mreža 1. reda $f = \pm 2 \cdot \sqrt{s+0.04 \cdot s^2} = 1.6 \text{ mm}$

IZRAVNANE NADMORSKE VIŠINE REPERJEV

=====				
Reper	Približna	Popravek	Definitivna	Sred.pog.
	višina	višine	višina	višine
R18/1	294.9000	0.0365	294.9365	0.0001
RFgg4	294.0000	0.6969	294.6969	0.0001
RFgg	295.0000	0.0030	295.0030	0.0001

IZRAČUN OBÈUTLJIVOSTI VIŠINSKE MREŽE

=====					
Št. Reper	Reper	Q11	Sred.pog.	Qvv	r
op. zadaj	spredaj		viš.razl.		
1 R101	R18/1	0.0909	0.0001	0.0906	0.4993
2 R18/1	RFgg4	0.0380	0.0001	0.0363	0.4891
3 RFgg4	RFgg	0.0196	0.0000	0.0196	0.5006
4 RFgg	RFgg4	0.0196	0.0000	0.0195	0.4994
5 RFgg4	R18/1	0.0380	0.0001	0.0396	0.5109
6 R18/1	R101	0.0909	0.0001	0.0911	0.5007

Skupno število nadštevilnosti je 3.00000000.

Povprečno število nadštevilnosti je 0.50000000.

PRILOGA G: POROČILO O KALIBRACIJI

POROČILO O KALIBRACIJI			
Merilo: komparator MSG1001, FGG KG razločljivost 0.001 mm merilna negotovost 0.003 mm + 4 • 10E-6 • L		certifikat št. A278/09 SZ kalibracijski laboratorij Kavne od 19.03.2009	
Kalibracija številka: 2011/161			
Invar lata (tip, št.): LEICA GPCL2 33819 Št. merjenih črt/razdelbe: 215		Datum kalibracije: 03.10.2011 Naročilo: FGG-KG	
DOLOCITEV MERILA RAZDELBE horizontalni položaj late			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Popravek razdelbe late $m_0 = 3.61 \pm 0.34 \text{ ppm}$ </div> <div> $T_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div> Popravek pete late $l_0 = 0.003 \pm 0.006 \text{ mm}$ </div> </div>			
Popravek odčitka na lati			
$L = l_0 + L' \left[1 + (m_0 + \alpha(T - T_0)) \cdot 10^{-6} \right]$		L' odčitek na lati [m] α linearni razteznostni koeficient razdelbe [ppm/°C] T temperatura late [°C]	
Operator		Aleš Marjetič	
Ljubljana,		03.10.2011	
Pregledal		Dušan Kogoj	
Predstojnik Katedre za geodezijo		Predstojnik Katedre za geodezijo	
UNIVERZA V LJUBLJANI FGG - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Oddelék za geodezijo, Katedra za geodezijo Jamova 2, 1000 LJUBLJANA, tel: (01) 4768 500 fax: (01) 4250 704, E-mail: dkogoj@fzg.uni-lj.si			